

مقدمة في
هندسة النقل
تأليف
وليام و. هاي
ترجمهُ بتصرف
الدكتور أنيس عبد الله التنير
سعد عبد الرحمن القاضي
جامعة الملك سعود
النشر العلمي والمطابع
Bibliotheca Alexandrina
00117163









مقدمة في
هندسة النقل

تأليف

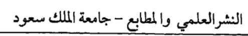
وليام و. هاي

ترجمهُ بتصرف

د. سعد عبدالرحمن القاضي
كلية الهندسة
جامعة الملك سعود

د. أنيس عبدالله التنير
وكالة شؤون النقل
وزارة المواصلات





النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٢٤٥٤ الرياض ١١٤٥١ - المملكة العربية السعودية

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

هاي، وليام و.

مقدمة في هندسة النقل/ ترجمة: سعد عبدالرحمن القاضي، أنيس عبدالله التنير .- الرياض.

٧٠٤ ص ؛ ٢١ × ٢٨ سم

ردمك ٨-٧١٧-٠٥-٩٩٦٠

١- هندسة النقل ٢- النقل أ- القاضي، سعد عبدالرحمن (مترجم) ب- التنير، أنيس عبدالله (مترجم) ج- العنوان

ديوي ٦٢٩,٠٤ ١٩/٠٢١٨

رقم الإيداع: ١٩/٠٢١٨

حَكّمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق على نشره - بعد اطلاعه على تقارير المحكمين - في اجتماعه الحادي والعشرين للعام الدراسي ١٤١٦/١٤١٧هـ المعقود في ٢٧/ ٢/ ١٤١٧هـ الموافق ٢٣/ ٦/ ١٩٩٦م.

مطابع جامعة الملك سعود ١٤١٩هـ/١٩٩٩م

إهـــداء

- إلى أساتذة العلم والمعرفة وطلابها في علوم النقـل...
- إلى الذين ساهموا في ترسيخ نظام نقل متطور بالمملكة العربية السعودية، بلد العطاء والخير والانجـاز...

نهدي هذا الكتاب.



مقدمة المترجمين

يعد النقل أحد الأركان الأساسية التي قامت وتقوم عليها الحضارات الإنسانية. ويلعب النقل دورا مهما ومؤثرا في تطور المجتمعات ودعم الاقتصاد الوطني والعالمي ودفع عجلات التنمية والتقدم إلى الأمام. فغنيّ عن القول أن شبكات الطرق والنقل، عموما، في أي بلد هي بمثابة الشرايين التي تجعل من ذلك البلد كائنا حيا يتطور وينمو ويزدهر باستمرار. ولهذا، كان الاهتمام كبيرا منذ أقدم العصور، ولا يزال، بتطوير وسائط النقل ومرافقه، ودراسة أفضل النظم العملية والاقتصادية لتخطيط هذه الوسائط والمرافق وتصميمها وإنشائها وتشغيلها وصيانتها لتعود على المواطنين والمجتمع بأفضل الخدمات وأجودها.

ونظرا لأهمية النقل في عملية التنمية، فقد جاءت فكرة هذا الكتاب للوفاء، ولو جزئياً، بحاجة المكتبة العربية إلى كتب أساسية في هندسة النقل. ولا شك أن التطور الهائل الذي شهدته المنطقة العربية، وخاصة الدول النفطية منها، خلال العقدين الماضيين يجعل الحاجة إلى تفهم هذا الموضوع أمرا ملحا وذا أهمية كبرى. ومن هذا المنطلق، فقد قمنا بتعريب كتاب «مقدمة في هندسة النقل» وتحديثه والذي نشرته دار وايلي الأمريكية للنشر، وأضفنا إليه أجزاءً عديدة ليعكس الأحوال السائدة في البلاد العربية، وليعطي القارئ هيكلا مألوفا لديه في معالجته لموضوعات نظم النقل، والتخطيط على المستوى الوطني وعلى المستوى الإقليمي، ومسؤوليات وزارات النقل في البلاد العربية وأهدافها وتنظيمها الإداري.

ويتميز هذا الكتاب بمعالجته لهندسة النقل معالجة متكاملة على أساس أنه وحدة متكاملة، وعلى أساس تشابه عمليات وسائط النقل المختلفة. فهو لا ينفرد، مثلا، في التركيز، فقط، على مركبات النقل وتصميمها وطريقة استعمالها، بل يربط خصائص المركبات بالطريق والسعة وعوامل التشغيل والتخطيط والتطوير لنظم النقل ودور الدولة والمواطن في ذلك. ويحتوي الكتاب على سبعة عشر فصلا مقسمة إلى أربعة أبواب وثلاثة ملاحق. يتعلق الباب الأول بنظام النقل وتطوره عبر السنين. ويبحث الباب الثاني تقنية وسائط النقل والقوة الدافعة

وخصائص الطريق . ويبحث الباب الثالث عوامل التشغيل التي تتعلق بمستوى الخدمة والأداء وكذلك المحطات وعوامل التحكم بالتشغيل وعناصر تكلفة الخدمة . وأخيرا ، يتعلق الباب الرابع بالتخطيط لتطوير نظم النقل واستعمالها ، ويحتوي على إجراءات التخطيط وجمع البيانات وتقويم البدائل والتخطيط على مستوى الدولة والإقليم . وقد أضفنا ملحقا خاصا يتعلق بالمفهوم الجديد لحساب سعة الطريق ، وذلك لإبراز آخر ما توصلت إليه العلوم في هذا المجال .

ومن الجدير بالذكر أننا توخينا الدقة والتوافق للمصطلحات الهندسية في جميع الفصول ، وذلك باستخدام عدد من الأدلة والمعاجم الحديثة بحيث بدأنا بـ«معجم مصطلحات النقل البري» من إصدار وزارة المواصلات بالمملكة العربية السعودية عام ١٤٠٧هـ (١٩٨٦م) ، وإذا لم نجد المصطلح المطلوب رجعنا إلى «المعجم الموحد الشامل للمصطلحات الفنية للهندسة والتكنولوجيا والعلوم - ١١ مجلداً» من إصدارات اتحاد المهندسين العرب ومؤسسة الكويت للتقدم العلمي» ، الطبعة الأولى ١٩٨٦م ، وإذا لم نجد المصطلح في أي من المصدرين السابقين رجعنا إلى «معجم مصطلحات العلم والتكنولوجيا - ٤ مجلدات» من إصدارات معهد الإنماء العربي ، بيروت ، لبنان ١٩٨٢ - ١٩٨٨م .

ولا بد من الإشارة إلى أن التعاون بين المترجمين قد أعطى الكتاب عمقا أكاديميا وعمليا في آن واحد ، فالكتاب يعكس خبراتنا المجتمعة خلال العشرين سنة الماضية في مجالات التعليم والعمل في الولايات المتحدة الأمريكية وفي المملكة العربية السعودية في شتى مجالات علوم النقل وصناعته . وأملنا أن يضيف هذا الكتاب مرجعا جديدا ونافعا للمكتبة العربية .

ولا شك أن جهدا كهذا ، رغم حرصنا على مراجعة المعلومات والمصادر وتدقيقها عدة مرات ، لا بد أن يتخلله بعض الأخطاء التي نعتبر أنفسنا مسؤولين عنها بالكامل .

وإذ نشكر عديداً من الزملاء الذين أبدوا آراءهم في عدد من فصول هذا الكتاب وساهموا في تحسين محتوياته لنأمل أن يكون الكتاب ذا منفعة وفائدة كبيرتين لجميع العاملين في علوم النقل وصناعته سواء كان ذلك على الصعيد الأكاديمي أو العملي ، حاضرا ومستقبلا .

سائلين المولى عز وجل أن ينفع به طالبي العلم والمعرفة .

والله من وراء القصد ، ، ،

المترجمان

مقدمة المؤلف للطبعة الأولى

لقد كنت مدركا، ولوقت طويل، وجود فجوة في محتويات كتب النقل بخصوص العوامل والأسس المرتبطة بالمنفعة التقنية لمختلف وسائط النقل التي تستعمل لنقل الأفراد والسلع. ولقد صدر عديد من الكتب الممتازة المتخصصة التي تبحث في التصميم الإنشائي وإنشاء مرافق النقل المختلفة من أبنية وتجهيزات ومسارات ومعدات. وقد يكون هناك عدد أكبر من الكتب التي تعالج الجوانب الاقتصادية والتنظيمية لصناعة النقل. ولكن موضوع استعمال تقنية النقل ومنفعتها الذي يشكل حلقة الوصل التي توجد بين التصميم والتنظيم لم يأخذ حقه من البحث، اللهم إلا من كتب تصدر بين حين وآخر عن واسطة نقل معينة ككتاب ولينغتون Wellington بعنوان «النظرية الاقتصادية لتحديد مواقع السكك الحديدية».

ألّفتُ هذا الكتاب مقدمة لهندسة النقل لملء تلك الفجوة والربط بين التصميم الإنشائي والتشغيل الاقتصادي لوسائط النقل. فهو يتعلق بالنواحي الإنشائية (بما في ذلك تصميم المحركات الأساسية لوسائط النقل ومعداتها) من حيث الأحوال السائدة للطريق والقوة الدافعة اللازمة لحمل الحمولات المتعلقة بنمط مروري ونظام تشغيلي معين وجرها. كما يتعلق الكتاب من الجانب الآخر بالنواحي الاقتصادية والتنظيمية من خلال تأثير الخواص التقنية على التكلفة.

وهكذا يمكن القول إن مادة هذا الكتاب تختص بدراسة تأثير العوامل التقنية على الحركة والقواعد المتعلقة بها. وهذه تشمل موضوعات المقاومة للحركة التي تتعرض لها جميع وسائط النقل، والقوة الدافعة التي يجب بذلها للتغلب على تلك المقاومة. وكذلك، فإن الخصائص والمعايير التشغيلية تحدد مدى مناسبة واسطة نقل معينة لوضع مروري معين. وبالطبع، فإن هذه الموضوعات تتطلب بحث سعة الطريق والمرور لتحديد منفعة واسطة النقل، وكذلك يجب الأخذ بالاعتبار العوامل التالية التي غالبا ما تغفل، وهي المحطات والتنسيق والتحكم بالحركة، وأيضا، تأثير ما سبق على التكلفة.

وتظهر أهمية هذه الأمور في التخطيط الذي يشكل العامل الأساسي في تطوير أنظمة نقل مفيدة واقتصادية. فالتخطيط يجب أن يأخذ بعين الاعتبار مدى مناسبة واسطة نقل معينة ومنفعتها للاستجابة لحاجة النقل، وأن يأخذ هذين العاملين الأساسيين في الاعتبار عند اتخاذ قرارات اختيار واسطة النقل المناسبة وتطويرها. وبالطبع، يجب اعتبار موارد النقل الوطنية عاملاً ذا أهمية في عملية التخطيط.

ومما لا شك فيه أن هذه العوامل جديرة باهتمام الجميع، وليس، فقط، المهندسين العاملين في مجال النقل، إذ إن أهمية هذه العوامل لنظام النقل الذي يشكل الشريان الحيوي لاقتصاد الدولة ورفاهية المواطنين وتأثيرها على تكلفة النقل سيعود إلى المواطن الذي سيقوم، بدوره، بتمويل هذا النظام تمويلاً مباشراً أو غير مباشرة.

ولذا، يجب أن يكون الطالب ومهندس النقل ملمّين بهذه المفاهيم التي هي أساس اختصاصهما في واسطة نقل معينة سواء كان ذلك السكك الحديدية أو الممرات المائية أو النقل العام أو غيره. وهذا الكتاب يعطي فائدة إضافية إلى طالب العلوم الهندسية، إذ إن دراسة الخواص التقنية لوسائط النقل هي في الواقع مراجعة لعديد من العناصر الأساسية في العلوم الهندسية وطريقة دمج هذه العناصر لتحقيق هدف معين، وهذا ما يسمى بتحليل النظم.

لقد حاولت أن أعطي مدخلا موحدا لجميع هذه المسائل مزيلا بذلك الحدود والفواصل التقليدية التي طالما فرقت بين السكك الحديدية والطرق البرية والطرق الجوية... إلخ، والتي جعلتها وحدات منفصلة لا علاقة للواحدة منها بالأخرى. ولهذا، فقد حاولت أن أظهر المسائل والقوانين المشتركة لجميع نظم النقل. وأنا أعرف جيدا قصوري في معالجة جوانب هذا المدخل لدراسة نظم النقل. ولكن أملي أن هذه المحاولة الأولى من نوعها ستساعد وترشد الآخرين إلى تطوير أفضل وأشمل لبحث وسائط النقل ضمن هذا المدخل. وإذا لم يكن لهذا الكتاب من فائدة سوى فتح باب البحث والنقاش في هذا المضمار فإنني أعتبر أن جهدي كان مفيدا.

ولقد حاولت في الصفحات التالية أن أذكر مصادر المعلومات عندما كنت متأكدا من ذلك. ولكن، بسبب قراءاتي وأبحاثي الكثيرة وعلى مدى طويل من الزمن، فقد اقتبست كثيراً من الأفكار والتعابير التي أصبحت على مر السنين، وبدون سابق تصميم، أفكاري وتعابيري الخاصة. وإذا حدث شيء من هذا آمل أن يقبل القارئ اعتذاري.

ومن دواعي سروري أن أشكر كثيراً من الأصدقاء والزملاء والتلاميذ الذين ساهموا وشجعوا وأبدوا الآراء في هذا الكتاب. وبسبب ضيق هذه الصفحات، لا يسعني ذكر كل منهم بمفرده، ولذلك أتقدم للجميع بالشكر والامتنان. وأرغب أن أخص بالشكر الأستاذ أ. س. لانغ A.S. Lang من معهد ماساشوسيتس للتقنية الذي قام بمراجعة هذا الكتاب مراجعة شاملة ومتفحصة وقدم عديداً من التوصيات المفيدة لتحسينه وقام بتصحيح بعض الأخطاء العارضة. وبالطبع، ورغم مراجعة الكتاب عدة مرات، فإن الأخطاء التي قد توجد فيه تعود إليّ وأتحمل مسؤوليتها بالكامل.

وليام و. هاي

مقدمة المؤلف للطبعة الثانية

لقد تطور النقل تطورا مهما خلال الخمس عشرة سنة الماضية التي تلت صدور الطبعة الأولى من هذا الكتاب، وقد أبرزت بحوث تطوير نظم النقل نظريات جديدة وحديثة. وتم إنشاء وتشغيل نظم جديدة للنقل العام السريع في المدن الكبرى.

ولكن، لم تكن جميع التطورات الماضية في النقل إيجابية. إذ إن النقل بالسكك الحديدية قد تردى تردِّيًا كبيراً وسريعاً. وكذلك أصبحت مدة الوصول إلى المطارات والإجراءات الإدارية داخلها تساوي تقريبا مدة الطيران نفسها. وقد وصل الإنسان إلى القمر ولكنه لا يزال يعاني يوميا الاختناق المروري داخل المدن. وكذلك، فإنه بالرغم من أن أنابيب الزيت وناقلاته الكبرى تؤدي دورا ضروريا في نقل النفط، فهي تمثل خطرا على البيئة. حتى النظم الجديدة خسرت بعض جاذبيتها بسبب تحويل الأموال والجهود عنها لتحديث التجهيزات الحالية لتلبية الحاجات الآنية الملحّة.

ومحاولة مني لتحديد هذه الاحتياجات، رأيت أنه من الضروري تحديث المعلومات التي عرضتها في الطبعة الأولى من هذا الكتاب. ولا تزال الحاجة ماسة إلى دراسة نظم النقل والقيام بتخطيطها في ضوء درجة منفعة كل واسطة منها. وهذا الأسلوب سيوجد نظام نقل متوازن وذا جدوى اقتصادية وعملية تنتفع بها الدولة والمناطق والمدن. وعلى هذا الأساس، فيجب أن نعطي الطلاب الصورة الكاملة وليس جزءا منها.

إن مشكلات النقل هذه الأيام لا تُردّ إلى تقنية النقل، ولكنها ترجع إلى طريقة استعمالنا لهذه التقنية. فيجب أن تتحكم نظريات منفعة واسطة النقل بعملية تخطيط النقل. ولهذا السبب، فلا زلت مقتنعا بضرورة إبراز علوم النقل إبرازاً موحداً بدلا من إبراز كل واسطة نقل على حدة. فطريقتي تركز على العوامل المهمة والقواعد المشتركة لجميع نظم النقل. وقد يكون تعليم مبادئ النقل بهذه الطريقة فيه شيء من الصعوبة، ولكن هذه الصعوبة، في نظري، تشكل ثمنًا زهيدا للمنفعة الكبرى الناتجة عن إعطاء الطلاب الصورة الكاملة. ومما لا شك فيه أنه يتوافر حاليا وسيكون هناك مستقبلا، كتب كثيرة تبحث تقنية كل واسطة من وسائط النقل المختلفة ومشكلاتها.

وكما كان الحال في الطبعة الأولى، فالمؤلف مدين جدا لعدد من الناس، وخاصة لأولئك الذين سمحوا له باستعمال نظرياتهم وأبحاثهم وشرحها والتي أضافت عمقا وعناصر جديدة لهذا الكتاب. آمل أن أكون قد نجحت في إعطاء جميع هؤلاء حقهم من الذكر. كما أتقدم بالشكر لجميع الذين زودوني بالرسومات التوضيحية وكذلك لأولئك الذين قاموا بطباعة مسودة الكتاب ومراجعته، ونظرا لتشعب موضوع الكتاب الذي يصعب تغطيته بالكامل، فإنه وبدون شك، سيوجد نقص وأخطاء أعلن عن تحملي شخصيا مسؤولية ذلك بالكامل.

وليام و. هاي

المحتويات

الباب الأول

نظـــام الـنـقـــل
THE TRANSPORTATION SYSTEM

الفصل الأول: وظائف النقل وتطوره

Transportation Function and Development

الفصل الثاني: التطور التاريخي للنقل

Historical Development

الفصل الثالث: نظام النقل

The Transportation System



الفصل الأول

وظائف النقل وتطوره
TRANSPORTATION FUNCTION AND DEVELOPMENT

يشكل النقل جزءا مهما من الحياة المعاصرة. والواقع أن النقل كان دائما عنصرا مهما في حياة معظم المجتمعات في العصور الغابرة. وسيظل كذلك في المستقبل إذ إن تقدم وسائل النقل ونظمه يعد مؤشرا ومقياسا عادلا لمدى نمو الدول والشعوب وتقدمها.

وظائف النقل
FUNCTION

يعرف النقل بأنه حركة الناس والسلع والمرافق اللازمة للقيام بذلك. وقد تكون حركة الناس هي الأهم لدى بعضهم وخاصة داخل المدن، ولكن الواقع أن نقل السلع والبضائع من مصادرها إلى أماكن استخدامها هي الأهم لتطوير النشاط الاقتصادي ونموه. وطبعا، فإن حركة الناس والبضائع يعدان عاملين أساسيين في نمو المجتمع اقتصاديا واجتماعيا.

المدلول Significance. للنقل خواص ومزايا تحدد وظائفه الخاصة وأهميته. فالوظيفة الأولى للنقل هي ربط العلاقة بين السكان واستعمالات الأراضي وتحديدها. وهو عامل مهم في تكامل المجتمع وتنسيقه الذي يزداد تعقيدا وتطورا يوما بعد يوم. ويؤدي النقل دوراً مهما في حركة البضائع. فالبضاعة تعد عديمة القيمة ما لم يكن لها منفعة، بمعنى قدرتها على تلبية حاجات المستهلك. والنقل، في هذه الحالة، يضفي نوعين من المنفعة: المنفعة

المكانية والمنفعة الزمانية . وهذان المصطلحان الاقتصاديان يعنيان أن السلعة ليس لها قيمة اقتصادية حية إلا إذا كانت متوافرة في المكان والزمان المطلوبين ، ويمكن تطبيق هذين العاملين الأساسيين ، أيضا ، على نقل الناس وحركتهم . فمثلا ، يعطي اعتماد صناعة ما على المواد الخام القادمة من مصدر بعيد عن مكان التصنيع هذه المواد منفعتها المكانية التي تتناسب مع مكان استعمالها والقدرة على وصولها إلى المصنع لتصنيعها .

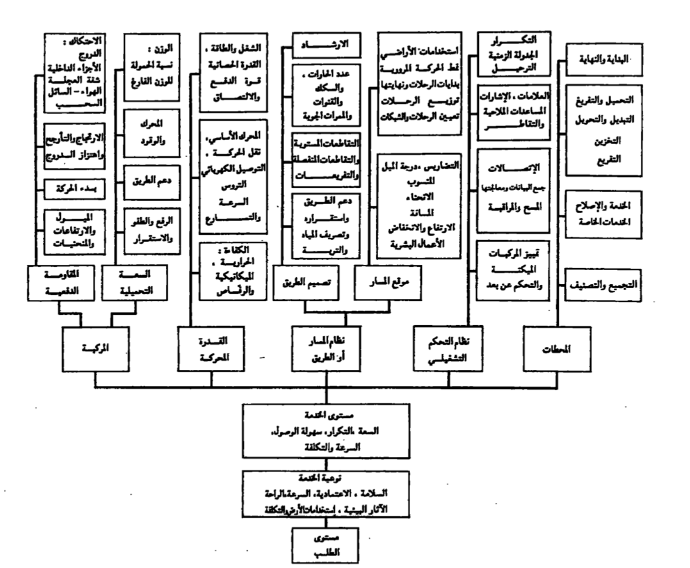
أما داخل المدن ، على وجه الخصوص ، فإن النقل يوفر حلقة الوصل بين البيت ومقر العمل . والواقع أن أكثر من ٥٠٪ من الرحلات داخل المدن هي رحلات تتعلق بالعمل . كما أن رحلات التسوق والتنزه والذهاب إلى المدرسة والعودة منها ، وأسباب أخرى كثيرة توجب التنقل ، كل هذه تعتمد على سهولة النقل التي تجعل الوصول إلى الأماكن المطلوبة سهلا وممكنا . وتتطلب حركة الناس ، وخاصة داخل المدن ، وجود وسائل نقل ونظم من طرق وحافلات وغيرها من وسائل النقل العام ، وذلك لتسهيل هذه الحركة وتحقيقها على أفضل وجه . ويجري السفر بين المدن والدول ، سواء كان ذلك للعمل أو للتنزه ، على قدم وساق ضمن حدود كل دولة وفي أرجاء العالم الكبير . وسنبحث لاحقا في هذا الفصل عوامل التكلفة والنظم المختلفة للنقل .

أطـــر الدراســـة
FRAMES OF REFERENCE

خصائص النظم Systems Characteristics. يمكن تعريف النظام على أنه مجموعة من الأجزاء والعناصر المترابطة التي تستعمل لتحقيق هدف مشترك وهي مترابطة جدا لدرجة أن أي تغير في أحد الأجزاء يؤثر على أداء الأجزاء الأخرى . وعندما نتحدث عن نظام النقل الوطني فإن ذلك يعني جميع وسائل النقل ومرافقها سواء كانت برية أو جوية أو بحرية . وقد نتحدث ، أيضا ، عن نظام إقليمي أو نظام حضري للنقل .

وتشكل نظم النقل ، بدورها ، جزءاً من النظام الاجتماعي والاقتصادي العام . فنظام النقل ، على سبيل المثال ، هو جزء مهم بالإضافة إلى مجموعة أخرى من النظم الأخرى كشبكات المياه والإنارة والصرف الصحي وغيرها من مكونات تشكل مجتمعة النظام الحضري أو المجتمع . وقد ساعد التقدم في علوم الحاسوب وأساليب تحليل النظم كثيرا على تشخيص العقبات الناجمة عن تداخل نظم النقل ، والأنشطة البشرية ، واستعمالات الأراضي والحصول على حلول مناسبة لذلك . وسنشرح هذه النقطة بالذات في فصول لاحقة .

النظم التقنية Technological Systems. إن النقل بوصفة نظاماً تقنياً إطار رئيسي لهذا الكتاب . ويتألف نظام النقل من خمسة مكونات أساسية هي : المركبة ، والقدرة المحركة ، والطريق ، والمحطات ، ونظم التحكم بالتشغيل . والطريقة التي تتفاعل بها هذه المكونات لتوفير الخدمة والمنفعة المرجوة مبينة في الشكل (١ , ١) . وتعتمد سعة أي نظام نقل ، جزئيا ، على حجم المركبة المستخدمة وسرعتها ، كما أن حجم المركبة وسرعتها يحددان مقدار القدرة المحركة اللازمة وبالعكس . وكذلك الأمر لحجم المركبة ووزنها الإجمالي ؛ فهذه تعتمد على قدرة تحمل الطريق . وتعتمد سعة الطريق ، ممثلة بعدد المركبات في الساعة ، على عدد الحارات المتوافرة في الطريق ، ونظام التحكم



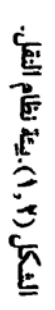
الشكل (١,١). مكونات نظام النقل.

بالتشغيل (كأجهزة الاتصالات وقواعد المرور وإرشاداته وغيرها). وإذا لم توجد محطات كافية، من حيث النوعية والمعدات، لخدمة حركة المرور عبرها فلن يكون لسعة الطريق أو المسار أهمية كبيرة. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن توجد الإدارة القديرة المؤهلة والفنيون المختصون لتشغيل جميع مكونات نظام النقل وصيانته، وذلك للحفاظ على أداء فعال لخدمة النقل. وهذا طبعا، يعتمد، إلى حد كبير، على توافر تمويل كاف لعمليات التشغيل. ويوضح الشكل (٢, ١) النظام التقني كجزء من النظام الاجتماعي والاقتصادي، بالإضافة إلى مؤثرات وعوامل خارجية عديدة.

الخصائص التقنية – الاقتصادية Technoeconomic Characteristics. هناك إطار آخر لهذا الكتاب هو عدد من الخصائص التقنية التي لها تأثير مهم على التكلفة. ويحدد اجتماع عدد من هذه الخصائص التقنية – الاقتصادية درجة فائدة نظام نقل معين أو منفعته، أو وسيلة نقل معينة لأداء خدمة معينة. وتشمل هذه الخصائص قوة الدفع والمقاومة لقوة الدفع بأشكالها المختلفة والنسبة بين الحمولة والوزن الفارغ والكفاءة الحرارية واستهلاك الوقود ونسبة تحميل الطاقة (قدرة الأحصنة لكل طن) وسعة الطريق والاستقرار والسرعة والسلامة والإعتمادية والإنتاجية والتأثير على البيئة وغيرها. فيجب فهم أهمية هذه الخصائص والأخذ بالاعتبار تأثيرها على المنفعة واستعمالات الأراضي والتكلفة في عملية التخطيط.

العوامل البيئية Environmental Factors. من المسلّم به أن النقل له تأثير كبير ومباشر على البيئة. ومن المعروف، أيضا، أن السيارة تسهم في تلوث البيئة إلى حد كبير. ولكن جميع وسائل النقل، كل بدرجة معينة، تتسبب في تلوث الهواء، والماء والأرض، كما تتسبب في الضوضاء والتلوث البصري. وعادة ما يستهلك إنشاء طريق أو مرفق للنقل أرضا، وقد يفصل أحياء بكاملها عن بعضها، ويخفض نوعية الحياة فيها. وفي أحيان أخرى، قد تزيد قيمة الأرض المحيطة بالطريق وتوفر حياة أفضل لأولئك الذين يستعملون الطريق. ولذلك، فإن التخطيط السليم واختيار وسائل النقل الملائمة ومواقع الطرق الصحيحة والمرافق الكافية، قد يساعد ذلك كله على تقليل درجة تلوث البيئة بجميع أشكالها.

مشكلات النقل Transportation Problems. لهندسة النقل حصتها الكافية من الصعوبات التقنية المعقدة. فالمطلوب مركبات سريعة ذات سعة كبيرة تتمتع بدرجة عالية من السلامة، وذلك للاستعمال في الرحلات الطويلة. أما بالنسبة للتنقل داخل المدن فهناك حاجة إلى وحدات نقل مرنة وصغيرة. وكذلك هناك حاجة إلى طرق متطورة لها سعات عالية وقدرة تحميل مناسبة لخدمة الشاحنات والحمولات الثقيلة أيضاً. وهكذا، فالصعوبات تكمن في العلاقة الديناميكية بين المركبات والطريق وتصميم أجهزة التعليق في المركبات وتماسك الطريق واستقراره والتخفيف من تلوث البيئة وتطوير المحطات. وهذه الصعوبات جميعها تقع ضمن المتطلبات الأساسية للسلامة والاعتمادية والأداء الاقتصادي لنظام النقل.



الشكل (٢,١). بيئة نظام النقل.

ومن المؤكد أن سياسات النقل وتنفيذها لها تأثير على تقنية وسائل النقل . فهل يجب الاعتماد الكلي على النقل العام أو على النقل الفردي الخاص أو على خليط منهما؟ وهل يجب تصميم النظام للنقل العام أم الخاص؟ وما المزيج الأمثل لما سبق ولوسائط النقل المختلفة ، وذلك للوصول إلى نظام نقل متزن يحقق أقصى منفعة ممكنة؟ وما الأدوار والمسئوليات المنوطة بالجهات الحكومية والمؤسسات الخاصة في تقديم خدمات النقل وإجراء البحوث التطويرية لها؟ وما الأنظمة العامة المطلوبة للتأكد من تأدية الخدمة بأمان وبدون تمييز؟ ومن الذين سيملكون نظم النقل ، أو حتى أجزاء منها ، وسيقومون بتشغيلها؟ والأهم من ذلك ، من الذي سيقوم بتمويل مشاريع النقل لتلبية احتياجات المواطنين والبلاد لمتطلبات النقل؟

ومن الطبيعي ، فإن التمويل عامل مهم في الإجابة عن جميع الأسئلة والصعوبات المذكورة أعلاه . وقد يعتمد إنشاء وسائل النقل على مقدار الاعتمادات المالية المرصودة لكل وسيلة بغض النظر عن مقدار الفائدة المرجوة من كل منها . وفي الماضي ، لم يكن التمويل الخاص لخدمات النقل بأجر كافيًا ، إذ إن الحكومة كثيرًا ما أسهمت في سد نفقات تلك الخدمات . ولكن على الصعيد العام ، فإن هناك تنافساً على التمويل الحكومي بين خدمات النقل وأنشطة حكومية أخرى ضرورية كالتربية والتعليم والصحة والمعونات والدفاع الوطني وغيرها . ولهذا ، يجب أن توضع أولويات وطنية لصرف الأموال بحيث تتناسب مع أهمية كل من هذه الخدمات والحاجة إليها . وهذه الأولويات توضع ، عادة ، على أساس معطيات سياسية . وعليه ، فإن هذه القرارات تكون ، عادة ، وليدة التفاعلات السياسية والوطنية . فكل جماعة أو منطقة أو صناعة معينة لها مصلحة خاصة بقرار معين ستحاول التأثير على القرار النهائي بما يخدم مصلحتها ، سواء كان ذلك تمديد شبكة الطرق الرئيسة وتوسعتها أو تحسين أجهزة الملاحة الجوية أو إنشاء مرافق وخدمات للنقل العام . ولذا ، فإن كل فئة ذات مصلحة خاصة تدرس القرارات الحكومية من زاويتها الخاصة وتسعى للاستفادة منها إلى أقصى حد ممكن ، في حين أن أعين المهتمين بالبيئة تنظر إلى تأثير ذلك على النواحي البيئية .

تخطيط النقل Transportation Planning. إن عملية تخطيط النقل هي ، بحد ذاتها ، مشكلة . فمن الممكن استعمال خبرات المهندس في جميع مراحل تطوير نظم النقل ، سواء كان ذلك خلال التخطيط أو التصميم أو الإنشاء أو التشغيل . ولكن عملية التخطيط قد أصبحت معقدة إلى حد أنه من المستحيل أن يعمل المهندس وحيدا وبمعزل عن التأثيرات الأخرى . ولذلك ، فهو يعمل عضواً في فريق من الخبراء يضم مخططين حضريين وأختصاصيين اجتماعيين ومعماريين وقانونيين وخبراء تمويل ، وحتى مهندسين آخرين من تخصصات متنوعة .

ولكن قلما يتخذ المهندس أو فريق التخطيط القرار النهائي . وعوضا عن ذلك ، يقوم الفريق بتحري البدائل مع تحليل الآثار المترتبة لكل بديل من حيث التكلفة والفوائد المتوخاة والمضار وغيرها . ومن هذه البدائل يختار متخذو القرار الفعليون – مجلس الإدارة ، مثلا ، أو المؤسسات المالية أو المجلس التشريعي أو الحكومة – البديل الأنسب ، أو قد يرفضوا جميع البدائل المقترحة .

إن الخروج بحل ما لتلبية حاجة معينة يتطلب تحديد مستوى الخدمة المطلوبة ونوعيتها و التي تفي بالحاجة وتقع ضمن حدود الميزانية المعتمدة لها . فإن مستوى الخدمة يتعلق مباشرة بالسعة وبتقاطر الخدمة وسهولة الحصول عليها . أما نوعية الخدمة فتتعلق ، مثلا ، بدرجة السلامة والاعتمادية والراحة والخصوصية والسرعة والآثار التي تلحق بالمجتمع والبيئة . ويمكن وضع تكلفة لكل من هذه المؤشرات .

وإذا أردنا أن نضع غايات محددة للنقل المناسب ، فيجب على نظام النقل أن يكون ذا سعة كافية ويسهل الوصول إليه ويوفر الوقت الأقصر للانتقال من مكان إلى آخر ويوفر درجة سلامة عالية ويمكن الاعتماد عليه تحت جميع ظروف الطقس كما يوفر رفاهية معقولة وأن يكون ملائما وأن يكون له الحد الأدنى من الأضرار الجانبية بوحدة الأحياء السكنية والبيئة ، كل هذا يجب أن يتحقق بتكلفة معقولة . وقد يكون من الصعب تحقيق هذه الغايات كلها ، ولكن يجب أن لا يكون هذا عائقا لمحاولة تحقيق أقصى قدر منها .

العوامل الرئيسة في تطوير النقل
FACTORS IN TRANSPORTATION DEVELOPMENT

يتطور النقل ووسائله نتيجة عدد من العوامل المتداخلة . ففي الولايات المتحدة ، مثلا ، لم يبن نظام الطرق القومي للتغلب على العوائق الجبلية ، فقط ، ولكن ، أيضا ، للمساعدة في النمو الاقتصادي ولتحقيق الوحدة السياسية وللدفاع القومي . ولأغراض الدراسة ، فقط ، سنورد هذه العوامل العديدة تحت العناوين التالية : العوامل : الاقتصادية والجغرافية والسياسية والعسكرية والتقنية والمنافسة والتحضر مع العلم بأن أياً من هذه العوامل أو كلها قد تتداخل مع بعضها بعضاً .

العوامل الاقتصادية Economic Factors. قد يكون تطور النقل نابعا ، أساسا ، من العامل الاقتصادي . فالشغل الشاغل للإنسان الأول في القرون البدائية كان تأمين الغذاء ، والمسكن ، وأحيانا ، الملبس . وعندما تطور الإنسان الأول زادت متطلباته المعيشية والاجتماعية حتى أصبح الاقتصاد المحلي عاجزا عن تلبية تلك المتطلبات . وبرزت الحاجة إلى إيجاد وسائل لنقل السلع الضرورية من أماكن نائية ، مما زاد في تكلفة هذه السلع . وبالتالي ، فقد ازدادت الحاجة إلى نقل الناس عبر مساحات أكبر . واليوم ، فإن ١٠ إلى ١٥ بالمائة من تكلفة أية سلعة هي تكاليف النقل والتوزيع . وتكلفة اقتناء سيارة واستعمالها وسيلة للنقل في عصرنا الحديث قد تشكل مابين ١٠٪ و٢٠٪ من مصاريف العائلة .

وبسبب التقدم الهائل الذي طرأ على أنظمة النقل عبر السنين ، فقد زادت إنتاجية وسائل النقل ، وقلّت تكلفة نقل وحدة واحدة من أية سلعة معينة . والجدول (١ , ١) يبين ، عموماً ، ارتفاع إنتاجية وسائل النقل وانخفاض تكلفة النقل بسبب التقدم التقني . وتجدر الإشارة إلى أنه يجب أخذ التكلفة في الاعتبار في جميع مراحل تطوير وسائل النقل .

الجدول (١,١): التحسن في وسائل النقل مقارنة بالتكلفة والأداء[1]

نوع الناقلة والمسافة	الإنتاج طن-ميل لكل يوم	قيمة معدات المركبات (بالدولار)	التوابع المطلوبة	التكاليف باليوم[2] أ) التوابع ب) التشغيل جـ)خدمة القروض د) معاشات (بالدولار)	الكلفة الإجمالية باليوم (بالدولار)	الكلفة الإجمالية لكل طن-ميل (بالدولار)
ظهر رجل (١٠٠ رطل مسافة ٢٠ ميلاً)	١	صفر	طريق وحزام للربط	أ) ٠,٠١ ب) - جـ) - د) ٠,٢٠	٠,٢١	٠,٢١
الحيوان (الحصان) (٢٠٠ رطل مسافة ٤٠ ميلاً)	٤	٨٠	طريق وحزام وسرج	أ) ٠,٠٢ ب) ٠,٢٠ جـ) ٠,٠١ د) ٠,٤٠	٠,٦٣	٠,١٦
عربة يدوية، عجلة واحدة (٤٠٠ رطل مسافة ٢٠ ميلاً)	٤	١٠	طريق	أ) ٠,٠٤ ب) ٠,٠٢ جـ) ٠,٠١ د) ٠,٣٠	٠,٣٧	٠,٠٩٣
عربة يدوية، ٤ عجلات (١٠٠ رطل مسافة ٢٠ ميلاً)	١٠	١٠	طريق معبد	أ) ٠,٠٨ ب) ٠,٠٢ جـ) ٠,٠١ د) ٠,٣٠	٠,٤١	٠,٠٤١
عربة تجرها أحصنة (٣ أطنان صافي مسافة ٤٠ ميلاً)	١٢٠	٦٠٠	طريق جيد	أ) ٠,٥٣ ب) ٠,٣٦ جـ) ٠,١٢ د) ٣,٦	٤,٦١	٠,٠٣٨
شاحنة (٢٠ طناً مسافة ٢٠٠ ميل)	٤٠٠٠	٣٦,٠٠٠	طريق معبد	أ) ٧,٨٩ ب) ٤٠,٨٠ جـ) ٣,٣٨ د) ٤٠,٠٠	٩٢,٠٧	٠,٠٢١
قطار سكة حديد (٢٠٠٠ طن صافي) مسافة ٥٠ ميلاً)	١٠٠,٠٠٠	٨٠٠,٠٠٠	خط حديدي	أ) ٢٨٨,٠٠ ب) ٥٠٠,٠٠ جـ) ١٤٧,٠٠ د) ١٠٠,٠٠	١٠٣٥,٠٠	٠,٠١٠٣

(١) لُخص هذا الجدول بناء على مقترحات وردت في أبحاث لم تنشر أجراها الدكتور الراحل آي. ج. يونغ من جامعة إلينوي.
(٢) التكلفة هنا هي تكلفة الوقت والمنطقة التي تستعمل فيها هذه الناقلات.
(أ) تشمل كامل التكلفة لصيانة المرافق وتشغيلها فقط.
(ب) تكلفة المحروقات والصيانة ما عدا العمالة.
(جـ) تكلفة القروض وتسديدها.
(د) تكلفة العمالة المباشرة لتشغيل الناقلة.

العوامل الجغرافية Geographical Factors. ترتبط العوامل الجغرافية ارتباطا وثيقا بالعوامل الاقتصادية. فالموقع الجغرافي للموارد الطبيعية يحدد الطرق التي يجب سلوكها للوصول إلى هذه الموارد والاستفادة منها لتحقيق المنفعة الاقتصادية، أو بعبارة أخرى، تحقيق المنفعة المكانية والمنفعة الزمانية، وذلك بنقلها من أماكنها حيث لا توجد لها قيمة اقتصادية إلى أماكن التصنيع والاستهلاك حيث تتضاعف قيمتها الاقتصادية.

ولنأخذ، مثلا، إنجلترا - الجزيرة المحاطة بالماء - فلكونها جزيرة، أرغمت السكان على التطلع إلى ما وراء البحار للحصول على الطعام والمواد الخام، وللحصول على أسواق لبيع منتجاتهم الصناعية. وهذا ما جعل إنجلترا دولة بحرية من الدرجة الأولى وأحد المراكز العالمية الكبرى لبناء السفن، وذلك على ضفاف نهر كلايد، (وكذلك اليابان التي اكتسبت شهرة وخبرة بحرية لأسباب مماثلة). فقد أنشأت بريطانيا طرقا بحرية إلى جميع ممتلكاتها في ما وراء البحار وأقامت الموانئ، ومحطات التموين وقواعد بحرية لرسو أسطول قوي وكبير لحماية هذه الطرق والمنشآت.

وقد جاء اكتشاف القارة الأمريكية صدفة أثناء محاولة لإيجاد طريق مائي للتجارة مع الشرق، وذلك للاستعاضة عن طرق التجارة الطويلة والخطرة في بعض الأحيان عبر اليابسة أو حول القارة الإفريقية. وفي الولايات المتحدة، كان الهدف الأساسي لبناء الطرق والقنوات والسكك الحديدية، هو التنمية الاقتصادية وتطوير المناطق النائية. فمناجم الحديد في الوسط الشمالي للولايات المتحدة الأمريكية قدمت واحدا من أكفأ أنظمة النقل في العالم الذي احتوى على حركة نقل متكاملة ومنسقة بين النقل البري والبحري والمرافق التابعة لهما. ولا يفوت على القارئ أن توقف حركة ناقلات الزيت الضخمة بين البلاد العربية والساحل الشرقي للولايات المتحدة خلال شتاء ١٩٧٣ - ١٩٧٤م قد أضر بالاقتصاد الأمريكي إلى حد كبير. وقد شعر الفرد الأمريكي بذلك عند وقوفه ساعات طويلة أمام محطات الوقود، وذلك في محاولته الحصول على حصته من الوقود.

ويعطي النقل المائي في منطقة البحيرات العظمى في شمال الولايات المتحدة مثلا حيا على ظاهرة جغرافية تتمثل في وجود موارد المواد الخام بالقرب من الممرات المائية الطبيعية لنقلها إلى أماكن التصنيع والاستهلاك. فإن «قناة إيري Erie Canal»، في ولاية نيويورك تمر في المنخفض الطبيعي الوحيد على طول جبال الأبلاش. وكذلك تحتوي جبال الروكي في أواسط الولايات المتحدة على ممرات قليلة لبناء خطوط سكك الحديد والطرقات مما أدى إلى تطوير وسائل شق الأنفاق، ومحركات السكك الحديدية الجبارة، وغيرها من وسائل التغلب على صعوبات الانتقال في المناطق الجبلية. وعلى العكس، فقد وفرت الأودية التي تجري فيها الأنهار ممرات نقل مائية طبيعية، وسهلت إنشاء السكك الحديدية والطرق في المناطق المجاورة لضفاف هذه الأنهار. وكذلك، كانت الرياح التجارية هي التي تحدد طرق إبحار السفن الشراعية، واليوم، فإن رياح الجزء الأعلى من الغلاف الجوي تؤثر على اختيار مسارات الرحلات الجوية ومواعيدها الزمنية.

وكانت شواطئ الأنهار والبحيرات وموانئ المحيطات ومفترقات الطرق البرية تشكل الاختيارات الطبيعية للمراكز السكانية، وفي الوقت نفسه، كانت هي مصدر صعوبات النقل الحضري التي نشأت في تلك المراكز. ففي الولايات المتحدة، جذب الساحل الشرقي وأجزاء الأنهار القابلة للملاحة المستوطنين الأوائل، ونشأت

التجمعات السكانية في الغرب تبعا لتطور وسائل النقل المختلفة، من طرق وسكك حديدية وممرات مائية، في تلك المناطق.

العوامل السياسية Political Factors. غالبا ما تؤدي الاعتبارات السياسية دورا مهما في تطور مرافق ووسائل النقل. فنلاحظ، على سبيل المثال، جهود روسيا الدائمة للحصول على موانئ في المياه الدافئة. وكذلك رغبة اليابان في تطوير اكتفائها الاقتصادي وحصولها على المواد الخام من كوريا ومنشوريا، وذلك ببناء خطوط حديدية في هاتين الدولتين.

إن رغبة الحكومة الاتحادية للولايات المتحدة في ربط أجزاء البلاد ببعضها وتسهيل الاتصالات بينها جعلها تتبع سياسات معينة لتشجيع بناء السكك الحديدية والطرق الطويلة السريعة، وذلك بإعطاء حوافز بشكل مساعدات مالية أو أراضي حكومية لذلك الغرض. إن العلاقة الوثيقة بين سياسات الحكومة، وتطوير نظام الطرق الطويلة وبنائه، وصناعة السيارات، وعلاقة جميع ذلك بازدياد أحجام المدن وبروز الضواحي حولها، لهي واحدة من أبرز الظواهر في هذا القرن. فإنشاء شبكة الطرق الاتحادية والدفاعية الضخمة في الولايات المتحدة هو مثال حي على أن اجتماع الحاجة والضغوط السياسية بوساطة أصحاب المصالح الخاصة وفعاليات الدوائر العسكرية كان عاملا حافزا في دفع مجلسي النواب والشيوخ (الكونغرس) إلى إقرار قوانين لإنشاء هذه الشبكة الهائلة من الطرق. وقد ساعدت الأموال التي رصدتها الحكومة لإنشاء هذه الشبكة إلى ربط المدن ببعضها، وأيضا، ربط الضواحي بالمدن، مما سهل حركة الانتقال السريع بين هذه الضواحي والمدن. وكذلك الأمر في الدول العربية التي تعمل جاهدة لربط مدنها الكبيرة ببعضها، وربط البلاد بالأقطار العربية المجاورة، إذ إن ارتباط أجزاء البلاد العربية ببعضها هو من العوامل الأساسية في تطويرها وتكاملها الاقتصادي والاجتماعي والحضري.

العوامل العسكرية Military Factors. إن هدف بناء القوة العسكرية لأية دولة هو، أساسا، لدعم القرارات السياسية والدفاع عن البلاد. وبالتالي، فإنه عادة ما يكون للإستراتيجية العسكرية تأثير مباشر على تطوير وسائل النقل ونظمه. فالطرق التي أنشأها الرومان كانت طرقا لنقل الجيوش والمؤن، وذلك لاستعمار البلاد الأخرى. والحرب الأهلية الأمريكية كانت برهانا قاطعا على الدور الحيوي الذي يؤديه النقل في دعم العمليات العسكرية، والذي أظهر الحاجة الملحة إلى وجود مقاس موحد لاتساع قضبان السكك الحديدية. وحتى يتم هذا الدعم بفاعلية، يجب تدريب الرجال وتصنيع المؤن ونقلها إلى أرض المعركة. وقد ذهب المؤرخ ألفرد ثاير ماهان[1] Alfred Thayer Mahan إلى القول بأن التاريخ هو صراع دائم للسيطرة على البحار. ولكن، في الجانب الآخر، رأى المؤرخ السير هالفورد ماكيندر[2] Halford Mackinder أن النقل البري يسمح للجيوش البرية بالتغلب على القوى البحرية في

---

(١) Alfred Thayer Mahan, The Influence of Sea Power Upon History, 1660 – 1783, Little, Brwon, Boston, 1890, 1911.

(٢) Sir Halfor J. Mackinder, Democratic Ideals and Democracy, Henry Hott, New York, 1919, 1942..

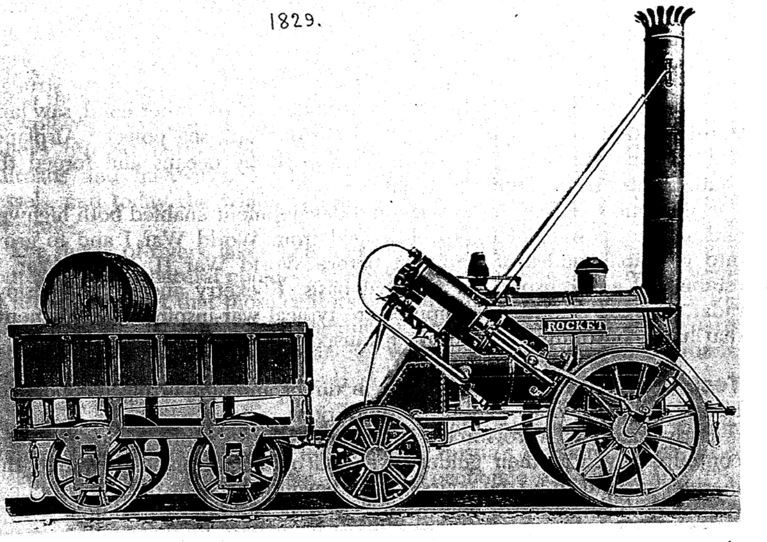
المعارك البرمائية. وقد أبطل إدخال الطائرات والصواريخ إلى الترسانة العسكرية الحماية التي توفرها المحيطات لبعض الدول، وأجبر الولايات المتحدة في هذه الحالة على الخروج من عزلتها.

ويظهر التاريخ أن برامج الأبحاث والتطوير لوسائل النقل تتسارع في أوقات الحروب. فقد أدت الحرب العالمية الأولى، مثلا، (١٩١٤ - ١٩١٨م) إلى تقدم كبير في النقل البري والجوي واللذين أصبحا عنصرين أساسيين للنقل إلى ما قبل الحرب العالمية الثانية (١٩٣٩ - ١٩٤٥م). وقامت الحرب العالمية الثانية برفع مستوى النقل الجوي إلى الصعيد العالمي ليغطي الكرة الأرضية كلها. والتقدم الذي حصل في علوم الصواريخ والطيران النفاث، والرادار وعلوم الإلكترونيات والحواسيب ما كان ليحدث إلا في إطار تطوير معدات حربية حديثة، استخدمت نتائجها لتحديث وسائل النقل في أيام السلم.

العوامل التقنية Technological Factors. لقد استفادت علوم النقل من التقدم التقني الذي حدث فيها وفي مجالات العلوم الأخرى استفادة كبرى وعملية. فعلى سبيل المثال، نذكر أن البحارة القدامى كانوا مجبرين على الإبحار بالقرب من اليابسة، إذ إن تضاريس الأرض كانت دليلهم الوحيد في الحركة. ولكن اختراع الأسطرلاب سمح للبحارة بالبقاء على مسارهم الصحيح عند وجودهم بعيدا عن اليابسة.

وسهل استعمال نظام البوصلة في الإبحار سنة ١٤٠٠م عملية البقاء في خط السير المعين. فهذه المعدات ساعدت قائد السفينة على تحديد موقعه ضمن خطوط العرض للكرة الأرضية. ولم تحل مشكلة عدم معرفة موقع السفينة بالنسبة لخطوط الطول إلا في نحو سنة ١٦٦٩م، عندما اقترح الفلكي الإيطالي كاسيني Cacini أنه يمكن استعمال حركة الأقمار حول كوكب المشتري مرشداً مستقلاً. وهذا ما سمح برسم خرائط إبحار أكثر دقة، ولكنها، رغم ذلك، كانت تحتاج تصحيحاً لأن قياساتها كانت مبنية على تقدير تقريبي لمحيط الأرض. ولكن في عام ١٧٥٠م استطاع صانع الساعات الإنجليزي جون هاريسون John Harrison أن يصنع ساعة ذات بندول (رقاص)، استعمل نظامها في تحديد خطوط الطول. وطبعا، فقد تقدمت اليوم هذه العلوم بحيث إن قائد السفينة يستطيع معرفة الوقت وموقع سفينته في أي لحظة بوساطة اللاسلكي والآلات الإلكترونية الأخرى. ولكن نظام الساعات القياسية لا يزال ضروريا في عمليات تشغيل القطارات.

وفي أوائل القرن التاسع عشر، قام الأمريكي جورج ستيفنسون George Stephenson بتبني نظام المحرك البخاري، الذي اخترعه العالم الإنجليزي واط Watt، في تركيب قاطرة بخارية لسحب عربات السكك الحديدية، وقد ساهمت القاطرة البخارية مساهمة فعالة في انتشار السكك الحديدية واستعمالها للنقل في الولايات المتحدة وغيرها من البلدان الأخرى. انظر الشكل (٣، ١). ولم يكن كافيا أن تكون القاطرة ذات قوة دفع هائلة، إذ إن الحركة بسرعات عالية للقطارات الطويلة والمحملة تتطلب توافر حديد قوي وصلب لتركيب الخطوط الحديدية الآمنة التي يمكن الاعتماد عليها، وكذلك روابط آلية وتروس لربط العربات مع بعضها وامتصاص الصدمات والاهتزازات، بالإضافة إلى مكابح آلية للتحكم بكمية الحركة والطاقة الهائلة الكامنة في القطار المتحرك.



الشكل (١,٣). قاطرة ستيفنسون البخارية (١٨٢٩م).

(COURTESY OF THE ASSOCIATION OF AMERICAN RAILROADS, WASHINGTON, D.C.)

ويعود الفضل في وجود نظام جيد للنقل على الطرق في هذه الأيام إلى اختراع محرك قوي وخفيف يُعتمد عليه يعمل بالبنزين وإلى تطور الإطارات الهوائية واستعمال الخرسانة أو المواد الزفتية في رصف الطرق وتطور البطارية واختراع المصباح الكهربائي وغيرها . وكذلك، فقد ساهمت علوم الإدارة الحديثة لإنتاج السيارات بأعداد كبيرة عن طريق خطوط التجميع، في جعل تكلفة السيارة في متناول الجميع تقريبا . وقد يتوقف مستقبل النقل بالسيارة على المقدرة على تصميم مركبات آمنة ومقبولة من حيث السلامة وعدم تلويث البيئة .

وقد أبرز اكتشاف النفط الحاجة إلى تقنية مدّ الأنابيب . فالتقدم الذي حصل في توصيل الأنابيب بوساطة اللحام الكهربائي وتطور نوعية صناعة الحديد المستعمل فيها، قد مكّن من مد الأنابيب عبر مسافات شاسعة وجعلها قوية بحيث تستطيع مقاومة ضغوط الضخ العالية لدفع النفط عبرها . وما نجاح مد أنابيب الزيت من حقول النفط السعودية إلى الشاطئ الغربي للجزيرة العربية وعبر سوريا ولبنان إلا برهانا قاطعا على ذلك .

وكذلك الطيران، فقد كان المطلوب تصنيع محرك قوي وخفيف الوزن يعتمد عليه . ويعود التوسع الكبير للنقل الجوي، أيضا، إلى اكتشاف معادن خفيفة وصلبة وتصنيعها، وإلى المحرك النفاث وعدد كبير من المعدات الملاحية الإلكترونية واللاسلكية، بالإضافة إلى علوم التربة وتصميم رصفيات مدارج المطارات القادرة على مقاومة الأحمال الضخمة لعجلات الطائرات والارتجاجات الناتجة عن ذلك . ولائحة الاختراعات التقنية التي ساعدت على زيادة الدور الذي يؤديه النقل في حياتنا اليومية تكاد لا تحصى .

المنافسة Competition. إن النظام الرأسمالي في البلدان الغربية يفرض التنافس بين الجميع . وهذه الطبيعة في المجتمع الرأسمالي أفادت في تطوير النقل . فالمنافسة لنقل البضائع، مثلا، ليست، فقط، بين شركات السكك الحديدية، ولكنها، أيضا بين، كل من هذه وشركات أخرى تستعمل الشاحنات أو الصنادل النهرية أو خطوط الأنابيب أو الطائرات للشحن الجوي . وهذه المنافسة تبرز مزايا كل وسيلة من وسائل النقل وتفرض على القائمين على تلك الصناعة تطوير هذه الوسائل لاجتذاب المزيد من المبيعات، وهكذا . فمزايا النقل الجوي هي السرعة، مثلاً، ولكن يجب أن يكون الطيران آمنا ويعتمد عليه وذلك ليتنافس مع وسائل النقل البري .

وتتشعب المنافسة لتشمل المواد والصناعات المساندة لصناعة النقل . فالمواد الزفتية، مثلا، تتنافس مع المواد الخرسانية في رصف الطرق، ومحركات الديزل حلت محل القاطرات البخارية في السكك الحديدية، ولكن هذه، بدورها، قد تتراجع أمام القاطرات الكهربائية خلال العقد القادم وخاصة أن أسعار النفط قد ارتفعت ارتفاعاً كبيراً .

وحتى المدن والمناطق المختلفة في الدولة الواحدة، تتنافس لاجتذاب الأعمال والعمران . فالمناطق الغربية تتنافس مع المناطق الشرقية، والشمالية مع الجنوبية، وهكذا . والنتيجة في هذا كله أن وسائل النقل تتحسن وتتطور باستمرار لاجتذاب المستعملين وخدمتهم، وبالتالي تحقيق الأرباح المطلوبة للجميع .

التحضر Urbanization. إن النمو السريع للأماكن الحضرية بسبب ازدياد السكان هو ظاهرة لا يمكن تجاهلها كعامل مهم من عوامل تطور النقل، إذ إن استعمال الأرض والقدرة على الوصول إلى المناطق المختلفة يرتبطان ارتباطا

وثيقا بوجود مرافق ووسائل نقل مناسبة. وقد يناقش الخبراء سبب الطلب الكبير على الطرق ووسائل النقل: أهي بسبب وجود العمران الحضري أم أن وجود الطرق ووسائل النقل هو الذي جعل الطلب كبيرا على العمران الحضري؟ وقد يكون لكل منهما تأثير في الآخر. ولم يحدث التوسع الكبير في العمران بدون وجود السيارة التي توفر وسيلة النقل الخاصة لتوصيل الناس إلى مساكنهم وأراضيهم.

وأبرز ازدياد السكان والنزوح من القرى إلى المدن الحاجة إلى تحسين وسائل النقل بين المدن. وبالعكس، فإن إنشاء الطرق السريعة بين المدن شجع على الهجرة إلى الضواحي وبناء وسائل نقل أخرى كالقطارات السريعة. وقد أدى توسع العمران عبر مسافات شاسعة إلى تطوير قطارات ذات سرعات عالية تتراوح بين ١٥٠ و ٥٠٠ كيلومتر في الساعة. ولا أحد يستطيع التنبؤ بالشكل المستقبلي لوسائل النقل، غير أن هناك عديدًا من المشكلات التي مازالت تنتظر حلاً.

عوامل أخرى Other Factors. العوامل التي ذكرت أعلاه ليست هي العوامل الوحيدة التي تحدد مدى تطور وسائل النقل. فعامل التمويل أو عدمه كان سببا رئيسيا في نجاح بعض نظم النقل، وأيضا سببا في فشل نظم أخرى. حيث أدت الاستثمارات الضعيفة في مشاريع السكك الحديدية في الماضي إلى إنشاء مرافق دون المستوى المطلوب. كما أدى العمال دورا في تقدم مواصفات السلامة وتحديد مستويات الخدمة من خلال أنظمة العمل، وقد ساعدوا أو عرقلوا تطوير وسائل نقل معينة من خلال قدراتهم الإنتاجية. وأخيرا، فإن الأوجه المختلفة لطبيعة الإنسان المعقدة وكذلك المجتمع جميعها أدت أدوارا معينة، سواء كانت كبيرة أو صغيرة، في تطور النقل.

جوانب أخرى للنقل
OTHER ASPECTS OF TRANSPORTATION

الجوانب الاجتماعية Sociological. يعرف هذا العصر «بعصر السير على العجلات». فالنقل، بمعناه العام، غير العادات وأنماط الحياة في هذا القرن. ولا شك في أن بعض العادات وطرق الحياة في المجتمعات تتغير بسبب تطور وسائل النقل وتحديثها، وإنشاء شبكات الطرق، وما شابه ذلك. فانتشار محطات الوقود والفنادق على خطوط الطرق الطويلة، وازدياد الحركة المرورية داخل المدن وبينها، يدل على مدى التغير الذي يحدث بسبب إنشاء شبكات الطرق داخل المدن وخارجها. ومع هذا التطور، تأتي مسائل صعبة الحل، مثل تأثير المرور الكثيف على الصحة والنظافة العامة، والتغير في المستوى الأخلاقي وتطبيق القوانين والارتفاع الهائل لأسعار الأراضي وغيرها. فعلى سبيل المثال، لم تكن القرصنة الجوية أو خطف الطائرات معروفة في السابق.

إن الأنماط الحضرية في تغير مستمر. فالعمران عادة ما ينتشر بسرعة على جانبي طريق جديد. ومراكز التسوق تنشأ في أماكن بعيدة عن وسط المدينة معتمدة بذلك على الطرق السريعة لوصول الناس إليها. وبناء الطرق الدائرية والسريعة داخل المدن تسمح لأصحاب المؤسسات والموظفين العمل داخل المدن والعيش الرغيد في الضواحي لما توفره هذه من اتساع المكان ونقاء الهواء وجمال الطبيعة وغيرها. وبحكم الضرورة، يبقى الناس

الأقل غنى داخل المدن، وخاصة في المناطق القديمة التي هي في طريقها إلى الاضمحلال . ويعتمد وجود فرص العمل لسكان هذه المناطق الفقيرة، إلى حد كبير، على وجود وسائل نقل عامة ورخيصة إلى مواقع العمل . ويرجع سبب أحداث الشغب الدامية التي وقعت سنة ١٩٦٨م في منطقة «واطس» في مدينة لوس أنجلوس الأمريكية، إلى حد كبير، إلى عدم قدرة الأهالي على الذهاب إلى أماكن العمل المتوافرة في الضواحي خارج مدينة لوس أنجلوس . وتتعاظم المشكلة عندما تنتقل المؤسسات التجارية والصناعية إلى أماكن نائية خارج المدن سعيا وراء الأراضي زهيدة الثمن وقلة الضرائب ووجود العمالة الرخيصة، مسببة بذلك الحاجة إلى الانتقال والعمل خارج المدن .

الجوانب الثقافية Cultural. يساعد النقل على الاتصال بين الناس وتخفيف عصبية المنطقة الواحدة . وقد خفت الفروق بين الشعوب بسبب الاتصال المباشر بينها بوساطة السفر، وتبادل المطبوعات والصور والمنتجات الصناعية وغيرها . ومع مر الزمن، فسوف لن يبقى إلا الفروق السياسية بين الناس . ففي الولايات المتحدة، مثلا، زالت الفروق والاختلافات الثقافية ولم يبق جزء من البلاد معزولا عن البقية .

وطبعا، ليست جميع هذه التأثيرات مستحبة . فإن تجانس الناس في الثقافة قد يطغى على تقاليد محلية توارثتها الأجيال عبر القرون . ونزوح الناس من مناطق مزدحمة إلى أخرى قد يغرق المناطق الجديدة بالازدحام، ومن الممكن إيجاد مؤثرات جديدة في هذه المناطق .

صناعة النقل The Transportation Industry. إن كثيرا من المواطنين في هذه الأيام يملكون وسائل نقلهم الخاصة، كما أن هناك شركات خاصة تملك وتدير أساطيل من سيارات وحافلات وشاحنات تقدم خدماتها بأجر، وطائرات وبواخر لنقل الناس والبضائع وسكك حديدية وأنابيب كلها مستعدة لتلبية الحاجة الملحة لنقل البضائع والمواد والناس .

وقد أوجدت احتياجات صناعة النقل هذه صناعات مساندة كمصانع الحديد والصلب لإنتاج الحديد لتصنيع السيارات والأنابيب الفولادية وسكة الحديد وحديد الجسور وغيرها . كذلك تساند مصانع المطاط في صناعة العجلات المطاطية للسيارات والشاحنات والطائرات . وتنتج مصانع النحاس أسلاكا لتمديد الكهرباء في السيارات والمحركات وأسلاك الاتصالات لجميع شركات النقل . وتنتج صناعات أخرى سيارات ومعديات حديدية وقاطرات وشاحنات وبواخر وطائرات . ولأن جميع هذه المصانع ووسائل النقل تحتاج إلى وقود وزيوت، فقد أسِّست شركات لاستخراج النفط ومصاف لتكريره وتصنيعه . وهكذا، فالاقتصاد الوطني يعتمد، إلى درجة كبيرة، على صناعة النقل . والفصل الثالث سيشرح باسهاب نظام النقل في البلاد العربية وصناعته .

النقل والفرد Transportation and the Individual. قد يعجب القارئ بعلاقته المباشرة بصناعة النقل التي تلبي احتياجاته من ضروريات الحياة وكمالياتها . وقد يكون المرء نفسه هو أحد المنتفعين المباشرين من هذه الصناعة إما

عن طريق العمل بها أو عن طريق العمل في إحدى الشركات أو المصانع المساندة لها . وهكذا الحال عند عدة ملايين من الأشخاص في جميع أنحاء العالم .

ويعتمد سعر أية سلعة يشتريها المرء على طريقة نقل هذه السلعة ومسافتها من المصنع إلى المستهلك . فإن قسما لا يستهان به من إيراد الدولة الذي يصرف ، عادة ، لمشاريع الخدمات العامة من بناء الطرق والمدارس وخدمات الشرطة والحماية من الحريق وغيرها من الخدمات العديدة يأتي من الضرائب المباشرة وغير المباشرة التي تفرض على العاملين والمنتفعين بصناعة النقل . وعلى سبيل المثال ، فقد يصمم المهندس طرقا أو معدات لصالح إحدى إدارات النقل ، أو يخطط لاستعمال وسائل النقل المناسبة لإنجاز مشروع آخر . كما يحتاج رجل الصناعة لاختيار وسائل النقل المناسبة التي تضمن له الوصول إلى موارد المواد الخام بسهولة وتكلفة زهيدة . وبعدها تسويق السلع بعد تصنيعها . وسيجد الفرد ، باعتباره ممولاً ، الفرد فرصاً استثمارية مغرية في صناعة النقل غير أنها قد تكون مليئة بالتعقيدات . كما أن رجل القانون يعمل على تحديد الاحتياجات والمصاعب المتعلقة بالنقل ويحاول المجيء بالسياسات والقوانين والإجراءات اللازمة لتوفير نظام نقل سليم . ويعتمد القائد العسكري على نظام النقل لتسهيل نقل العتاد الحربي والجيوش والدفاع عن الوطن . ويدرك المخطط الحضري تماما أن أية مدينة بدون نظام نقل كاف ومتكامل ستكون عرضة للتداعي والمعاناة من الاختناق المروري . ويجب على الخبير الاجتماعي دراسة تأثير سهولة الانتقال وحريته من منطقة إلى أخرى على الأنماط المعيشية والثقافية للمجتمع . كما أن المواطن يحلّل هذه الأمور التي تثير الاهتمام والإعجاب لما لها من تأثير مباشر على حياة الفرد والوطن على حد سواء . وأخيرا ، فإن على الطالب أن يفهم المبادئ والعلاقات الأساسية التي تحكم هذا العنصر الحيوي الذي يسيّر المجتمع الذي يعيش فيه . وإن الفهم الخاطئ لهذه المبادئ والعلاقات قد أدى ، في بعض الأوقات ، إلى سوء استخدام نظام النقل الذي أدى بدوره إلى خسائر اقتصادية واجتماعية فادحة . والتأثيرات الناتجة عن هذا الفهم الخاطئ هي تأثيرات تراكمية ، ولذا ، فكلما تطور المجتمع وزاد اعتماده على التجارة والصناعة زاد اعتماده على النقل وصناعته .

وقد يجد طالب الهندسة ، من خلال دراسته لنظم النقل ، مقدمة واقعية للعلوم والتطبيقات الهندسية في جميع فروعها وعددا من العلوم الطبيعية . فتصميم الأساسات للسكك الحديدية والطرق ومدارج المطارات يعتمد كثيرا على علوم هندسة التربة وميكانيكا التشوهات اللدنة . ويتم تطبيق قوانين الهيدرولوجيا والهيدروليكا وميكانيكا الموائع في تصميم نظم تصريف مياه الأمطار وإنشائها . ويتعرّف الطالب عند تصميم سطح الطريق على المواد الهندسية – الحديد والصلب والخرسانة والزفت والخشب – وسلوكها تحت الأحمال والظروف المتغيرة للحرارة والرطوبة وغيرها . ودراسة شق الطرق تعرّف الطالب على علوم الجسور والأنفاق والتصميم الإنشائي لها . ودراسة محركات وسائل النقل تعرّف الطالب بعلوم الديناميكا الحرارية والكهرباء والكيمياء والعلوم التخصصية للوقود والشحوم . وتعد علوم الديناميكا الهوائية وهندسة الموائع عناصر حاكمة في تصميم معدات السفن والطائرات وتصنيعها . واستعمال علوم الرادار والإلكترونيات في مجال الاتصالات والإشارات والتحكم بحركة وسائل النقل أصبحت أمورا بديهية في هذا العصر .

خلاصة
SUMMARY

يمكن القول بأن نظام النقل في أي بلد من البلاد يؤدي دورا مهما في تنسيق أنشطة المجتمع وتكاملها . إنه يربط توزع السكان وكثافتهم مع استعمالات الأراضي والبيئة ، ويوحد ، عضوياً ، جميع المناطق في بلد ما ، بل والعالم كله في وحدة منتجة . فهو يوحد أمة بأكملها ويجعلها شعبا واحدا له اقتصاد واحد وثقافة واحدة . ويمكنه توحيد العالم كله لولا الحواجز السياسية والاجتماعية والثقافية .

أسئلة للدراسة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - اشرح كيف تعتمد أنت ، كفرد في المجتمع ، ومجتمعك الصغير على النقل؟

٢ - ما مرافق النقل التي تحتاجها والمرافق التي يمكنك الاستغناء عنها؟ أجب عن هذا السؤال بالنسبة لطريقة حياتك الشخصية أولا ثم بالنسبة للمجتمع ككل .

٣ - ابحث في اعتماد وطنك على التجارة العالمية وطرق التجارة الدولية .

٤ - كيف تستطيع أن توضح ، من خلال رسم بياني ، الدور الذي يؤديه نظام النقل في تنسيق المجتمع وتكامله؟

٥ - استنبط علاقة تكلفة كل طن-كم كما في الجدول (١ , ١) ، وذلك لنوع معين من وسائل النقل مثل الشاحنات أو البواخر أو الطائرات أو خطوط الأنابيب أو السيور المتحركة أو العربات المعلقة .

٦ - اذكر أمثلة للتخصص في المجالات الصناعية والزراعية لعدد من المناطق في وطنك ، واشرح كيف يساعد نظام النقل الموجود على جعل هذا التخصص ممكنا .

٧ - حضر رؤوس أقلام أو ارسم رسما بيانيا لشرح المبادىء العلمية التي تطبق في :

(أ) السكك الحديدية

(ب) الطرق البرية

(جـ) الطرق الجوية

(د) الطرق المائية

(هـ) خطوط الأنابيب

٨ - اشرح دور النقل في إنتاج وتوزيع :

(أ) الطحين

(ب) النفط

(جـ) الفواكه والخضراوات الطازجة

(د) السيارات

(هـ) منتوجات صناعية أخرى محددة

٩ - (أ) لماذا قام سلاح طيران الحلفاء بالعمل المتواصل والمكثف لتدمير شبكات الطرق والنقل للعدو خلال الحرب العالمية الثانية؟

(ب) لماذا لم يؤثر القصف الجوي لسلاح طيران الولايات المتحدة خلال حرب فيتنام في وقف تدفق إمدادات العدو من الرجال والمؤن؟

١٠ - ما البدائل الممكنة للخدمات والوظائف التي يؤديها نظام النقل في نقل الناس والبضائع :

(أ) داخل المدن

(ب) بين المدن، أو بين المدن والقرى؟

١١ - (أ) لو سحبت منك رخصة القيادة اليوم، ما الصعوبات التي ستصادفك في متابعة حياتك العادية؟

(ب) ما الفئات التي تواجه هذه الصعوبات كل يوم في مجتمعك؟

١٢ - ما الدور الذي أداه نظام النقل في :

(أ) نمو الضواحي.

(ب) الصعوبات داخل المدن القديمة؟

١٣ - كيف يمكن أن تكون السياسة الخارجية للولايات المتحدة اليوم لو لم يتم اختراع الطائرات والصواريخ؟

١٤ - بيّن، بوساطة رسم بياني، أو عرض لرؤوس أقلام، المراحل المختلفة التي تُضاف فيها تكلفة النقل في إنتاج المواد الغذائية، وفي صناعة السيارات وبيعها.

١٥ - اشرح درجة اعتماد اقتصاد بلدك على :

(أ) النقل على الطرق

(ب) النقل بجميع أنماطه

قــراءات مقترحـــة
SUGGESTED READINGS

1. Kent T. Healy, *The Economics of Transportation in the United States,* Ronald Press, New York, 1940, Chapters 2 and 3, pp. 41–46.
2. D. Phillip Locklin, *Economics of Transportation,* 6th edition, Richard D. Irwin, Homewood, Illinois, 1966.
3. *Economic Characteristics of the Urban Transportation Industry,* Institute for Defense Analysis for the U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., February 1972.
4. A.M. Voorhees, "The Changing Role of Transportation in Urban Development," *Traffic Quarterly,* November 1969, pp. 527–536.
5. *Transportation: Principles and Perspectives,* edited by Stanley J. Hille and Richard F. Poist, Interstate Printers & Publishers, Danville, Illinois 1974.

الفصل الثاني

التطور التاريخي للنقل
HISTORICAL DEVELOPMENT

النقل قبل القرن العشرين
PRE-TWENTIETH CENTURY

الفترة ما قبل ١٨٠٠م. لقد اعتمد الإنسان قبل القرن التاسع عشر الميلادي على وسائل نقل بدائية. وشملت تلك الوسائل استعمال الرياح والتيارات المائية والجاذبية والحيوانات والطاقة البشرية وسائل لدفع وسائل النقل المتوافرة آنذاك. ولا أحد يعرف متى اكتشفت العجلة (الدولاب)، ولكن من المعروف أن سكان بابل القدماء استعملوا عربات نقل بأربع عجلات منذ عام ٣٠٠٠ قبل الميلاد. وأنشأ الرومان في الفترة ما بين عام ٣٦٠ قبل الميلاد و ٣٦٠م شبكة طرق تربط أجزاء إمبراطوريتهم ببعضها. واعتمدوا في إنشاء هذه الشبكة على تقنية العصر آنذاك، وهي فرش مسار الطريق بطبقات من الصخور الثقيلة لتشكل الأساس، ثم رصف هذه المسارات بطبقة من الأحجار المسطحة، واستعمال عجينة جيرية للعمل على تماسك الحجارة مع بعضها. وقد استعملت فواصل حجرية لتحديد ممرات المشاة ومسارات العربات التي تجرها الحيوانات. واستعملوا، أيضا، القنوات لتصريف المياه، والجسور الحجرية القوسية لاختراق الأودية. ولا تزال هذه الإنشاءات ظاهرة بينة إلى يومنا هذا في كثير من البلاد العربية.

وخلال الفترة ما بين نهاية القرن السابع عشر وأوائل القرن الثامن عشر الميلادي قام عدد من المهندسين، نذكر منهم ترساغوت Tresaguet وتلفورد Telford وماكآدم McAdam، بتطوير تقنية لإنشاء الطرق، وذلك بالتركيز على تصريف مياه الأمطار، واستعمال الحجارة المكسرة ذات الحجم المتوسط لأساس الطريق السفلي، والحجارة المكسرة ذات الحجم الصغير الممزوجة بالماء أو الزيت لرصف الطبقة العليا من الطريق. وهذه الطريقة في التشييد أعطت الفكرة الأساسية في إنشاء الطرق الزفتية التي لا تزال تستعمل حتى اليوم.

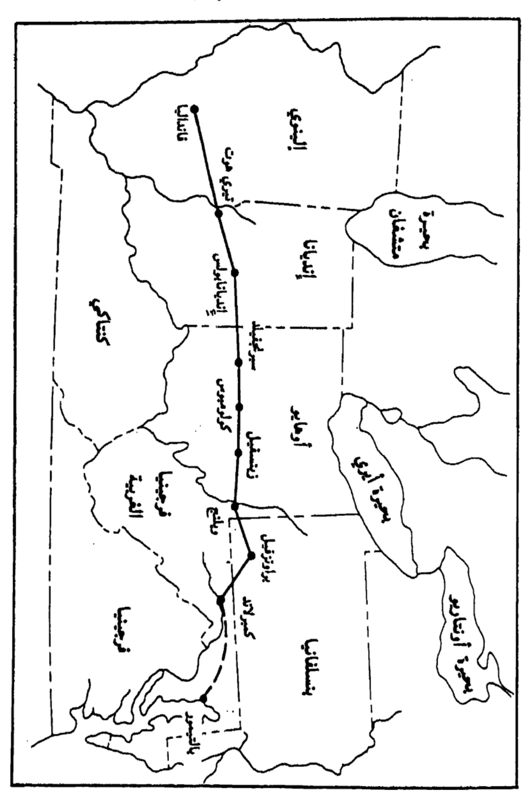
الفترة ما بين ١٨٠٠م و ١٩٠٠م. حدث أول نشاط بارز وأهمه في إنشاء الطرق الوطنية في الولايات المتحدة في عام ١٨٠٦م، وهو إنشاء طريق عام بين مدينة كمبرلاند في ولاية ماريلاند ومدينة فانداليا في ولاية إلينوي، ونُفّذ خلال الفترة من ١٨٠٦م حتى ١٨٣٠م، بعرض ٦,٠٩ متر داخل حرم للطريق بعرض ٢٠,١ متر. وقد احتوى الطريق على أساس بسُمك ٣٠,٥ سنتيمتر، مغطى بطبقة سمكها ١٥,٢ سنتيمترمن الحجر المكسر الذي دُكّ جيدا. وكذلك شمل الطريق جسورا على شكل أقواس ومحطات لدفع أجرة استعمال الطريق عند كل ٢٤ كيلومتراً مزودة بأبواب حديدية ثقيلة. وقد توقف إنشاء الطرق البرية العامة التي تمت بإشراف الحكومة الاتحادية إلى سنة ١٩١٦م وذلك بسبب رفض الحكومة المساهمة في تمويل إنشاء هذه الطرق، الشكل (١,٢)

وأما على صعيد النقل المائي، فقد سبق أن ذكرنا في الفصل الأول اختراع أجهزة لتحديد مواقع السفن بالنسبة لخطوط الطول والعرض. وهكذا تطور فن الملاحة من الاعتماد على التيار المائي والتجديف اليدوي إلى استعمال السفن الشراعية، ثم إلى استعمال المحرك البخاري في أوائل القرن التاسع عشر الميلادي.

وأما النقل الجوي، فقد بدأ بداية بطيئة قبل إشراق القرن العشرين بسنوات قليلة، عندما أجريت تجربة إطلاق بالون مجهز بأكياس من الغاز الخفيف (هواء ساخن أو غاز الهيدروجين) وجرى دفعه بمحرك خفيف الوزن.

أما القنوات والسدود فقد جرى استعمالها منذ زمن مبكر. فقد استعملت الصين هذه الوسائل في القرن الثامن الميلادي، وكذلك استعملت في أوروبا في القرن السابع عشر الميلادي. وأما في الولايات المتحدة فقد أنشئت قناة إيري (Erie) في ولاية نيويورك لتربط مدينة نيويورك، عن طريق نهر هدسون، بمدينة تروي ومنها إلى مدينة بافالو ومناطق البحيرات في الوسط الغربي الأمريكي. وأنشئت هذه القناة سنة ١٨٢٥م و فتحت الغرب الأمريكي إلى الأسواق والمصانع الكبرى في مناطق الشمال الشرقي للولايات المتحدة، ووفرت وسيلة رخيصة لنقل المواد والسلع إلى هذه الأسواق. ويجب أن لا يغرب عن ذهن القارئ أنه قد أنشئت قناة السويس في مصر خلال هذه الفترة، في عام ١٨٦٩م، والتي تربط البحر الأبيض المتوسط بالبحر الأحمر موفرة بذلك سرعة الانتقال بين أوروبا والشرق مما ساعد على تنشيط حركة التجارة بين الشرق والغرب إلى حد كبير.

وتعدّ سنة ١٨٠٠م السنة التي سجل فيها اختراع المحرك البخاري وطُوّر لاحقا في ما بين سنتي ١٨١٤م و١٨٣٠م. وقد أنشئ وفتح أول خط تجاري للسكك الحديدية في عام ١٨٣٠م. وفي خلال ثلاثين سنة، انتشرت شبكة من السكك الحديدية في جميع أنحاء شرق الولايات المتحدة. وساهمت الحكومة الاتحادية في تسهيل الحصول على الأراضي لإنشاء طرق السكك الحديدية مما ساعد هذه الصناعة في أن تؤدي دورا حيويا في التوسع الكبير نحو الغرب. وأنشئ أول خط حديدي يخترق القارة الأمريكية من الشرق إلى الغرب سنة ١٨٦٩م وسمّي هذاالخط بـ «يونيون باسيفيك» و«سنترال باسيفيك». وبحلول سنة ١٩٠٠م، كان هناك خمسة خطوط حديدية كبرى تصل الشاطئ الغربي للولايات المتحدة بالشاطئ الشرقي. ولهذا، فقد أنشئت عام ١٨٨٧م دائرة حكومية خاصة للإشراف على النقل والتجارة عبر الولايات المختلفة. ومن أهم واجبات هذه الدائرة تنظيم النقل بالسكك الحديدية بين الولايات المختلفة ومراقبته وتسعيره، وذلك لمنع شركة واحدة من احتكار خدمات النقل، ولضبط المنافسةومراقبتها بين شركات النقل وتأكيد الخدمة الحسنة للمستهلك.



الشكل (١,٢). مسار الطريق الوطني الأمريكي في عام ١٨٣٠م.

وفيما بين سنتي ١٨٦٠م و١٨٩٧م، طُوِّر محرك عملي يسير بالبنزين وذلك لدفع المركبات على الطرق. وجاء هذا التطور الجذري في تقنية النقل البري بطيئا ولم يظهر هذا الحدث المهم آنذاك أي دلائل واضحة للدور المهم جدا الذي قُدّر أن يؤديه هذا الاختراع في التقدم الهائل لوسائل النقل البري في القرن العشرين.

وكذلك النفط الذي قُدّر له أن يؤدي دورا أساسيا في النقل البري، اكتشف واستخرج من أول بئر للزيت في عام ١٨٥٩م في الولايات المتحدة وشُغل أول خط لأنابيب النفط في عام ١٨٦٥م.

الفترة ما بعد ١٩٠٠م
AFTER 1900

النقل بالسكك الحديدية في القرن العشرين. إن القرن العشرين بالنسبة للسكك الحديدية كان ولا يزال وقتا لاندماج الخطوط الحديدية والشركات في الولايات المتحدة وتوحيدها. ففي أوائل هذا القرن، دمج عدد من شركات السكك الحديدية الصغيرة في شركات أكبر. وفي الستينيات والسبعينيات، توحّد عدد من هذه الشركات لتوسيع رقعة الخدمات للمستعملين وزيادتها. ولأسباب اقتصادية، فإن الشركات، الآن، تحاول الاستغناء عن الخطوط القديمة التي ليس عليها كثافة مرورية كافية لتغطية كلفة تشغيلها والتركيز، فقط، على الخطوط ذات الكثافة المرورية العالية والمربحة.

وفي أوائل الثلاثينات من القرن العشرين، لم تكن للمقطورات التي تجرها الشاحنات على الطرق قابلية مواصلة رحلتها على عربات السكك الحديدية حتى اخترعت عربات مسطحة تتسع الواحدة منها لمقطورتين، وذلك في الخمسينيات. وهذه العربات المسطحة مكّنت من الجمع بين كفاءة السكك الحديدية في النقل لمسافات طويلة مع سرعة الشاحنات ومرونتها في جلب هذه المقطورات من مراكز البداية إلى محطة القطار وتوصيلها فيما بعد إلى مراكز النهاية بعد وصولها.

ومما ساعد على استمرارية استعمال السكك الحديدية اختراع محرك جديد يسير على قوة الديزل والكهرباء. وقد استعمل هذا المحرك أولا في ولاية نيوجرسي في عام ١٩٢٥م. واليوم، فإن جميع خطوط السكك الحديدية في الولايات المتحدة تستعمل هذا المحرك. ففي السنوات التي تلت الحرب العالمية الثانية، كان هناك عدد كبير من قطارات الركاب التي تسير بسرعة تتراوح بين ١٤٥ و ١٦١ كم/ ساعة بمحركات تسير على قوة البخار أو الديزل أو الكهرباء. وفي الستينيات، زادت سرعة القطارات إلى أكثر من ١٩٣كم/ ساعة (القطار الياباني تاكيدو Takaido) وسرعة ٣٠٠كم/ ساعة في الولايات المتحدة. أما قطار الركاب الحديدي الذي يعمل بين مدينتي نيويورك وواشنطن فيسير بسرعة ٢٠٠ كم/ ساعة. ولكن الرقم القياسي في سرعة القطارات الحديدية (٣٢٢ كم/ ساعة) لا يزال محفوظا للقطار الفرنسي ميسترال Mistral الذي يربط باريس بليون ومرسيليا[1].

---

(١) تم الوصول مؤخرا إلى سرعة ٤١٠ كم/ ساعة في محطة الأبحاث التابعة لوزارة النقل الأمريكية وذلك باستخدام قطار معلق بقضبان ويسير بمحرك الحث الخطي.

وفي عام ١٩٢٣م، تم تشغيل أول نظام تحكم مركزي لحركة القطارات في ولاية أوهايو الأمريكية، وطُبّق هذا النظام تطبيقاً أشمل خلال الحرب العالمية الثانية مما ساعد على زيادة السعة المرورية للخطوط الحديدية الأحادية (الفردية) و قلل الحاجة إلى جعل تلك الخطوط مزدوجة بمد سكك إضافية موازية، وذلك في وقت كانت إمدادات الحديد فيه شحيحة بسبب الحرب.

ومن الإنجازات التقنية المهمة التي تحققت في القرن العشرين في مجال النقل بالسكك الحديدية إدخال وسائل الراحة للمسافرين وتكييف الهواء داخل القطارات ومكننة أعمال الصيانة والاستفادة من التقدم في هندسة التربة في تثبيت أرضيات السكة واستعمال الخطوط الحديدية الملتحمة والمتواصلة. فإن استعمال القاطرات والعربات ذات السعة الكبيرة ونظم حديثة للمكابح واستعمال أدوات ضبط الاتصال بين العربات أتاح فرصة زيادة عدد العربات إلى ما بين ١٠٠ و ٢٠٠ عربة في القطار الواحد. أضف إلى ذلك، استعمال اللاسلكي في الاتصالات مما ساعد كثيرا على سلامة عمليات تشغيل القطارات وكفاءتها. وكذلك أصبح استعمال الحاسوب في عمليات السكك الحديدية مهما للإدارة والتشغيل. انظر الشكل (٢، ٢).

وكانت ذروة استعمال القطارات الحديدية للركاب والشحن خلال الحرب العالمية الثانية. ولكنها بدأت بالانحسار بعد الحرب إلى أن أصبحت في أوائل السبعينيات تحتاج دعماً مالياً من الحكومة الاتحادية. ففي عام ١٩٧٠م، أقامت الحكومة الأمريكية مؤسسة وطنية للسكك الحديدية تملك وتدير قطارات نقل الركاب بين المدن. وفي عام ١٩٧٤م، أصدرت الحكومة الأمريكية قانونا جديدا لتنظيم كبرى شركات السكك الحديدية في شمال شرقي البلاد وذلك بإنشاء مؤسسة خاصة لتخطيط خدمات النقل وتمويلها ولتأمين النقل في منطقة شمال شرقي الولايات المتحدة وحماية الشركة المعنية من الإفلاس.

عصر السيارات The Automotive Age. في عام ١٩١٦م، أقرت الحكومة الاتحادية الأمريكية مرسوم الطرق الاتحادية الذي تعهدت بموجبه بتمويل ٥٠٪ من تكاليف تحسين الطرق وإنشائها. وقد ترك قرار اختيار الطرق التي تحتاج إلى صيانة أو تحسيناً والقيام بذلك إلى الولايات وحكامها. وخلال الحرب العالمية الأولى تنبهت الحكومة الاتحادية إلى الفائدة العائدة من استعمال الشاحنات في نقل البضائع. ففي هذه الأثناء، صُنعت الشاحنات وشاع استعمالها مما حدا بالحكومة الاتحادية، محافظة منها على تأكيد المنافسة الشريفة بين شركات النقل المختلفة وحماية المستهلك، إلى إصدار مرسوم النقل البري بالسيارات في عام ١٩٣٥م وآخر في ١٩٤٠م. وقد أسفر عن اشتراك الولايات المتحدة في الحرب العالمية الثانية ازدياد الكثافة المرورية على الطرق، وخاصة الشاحنات الثقيلة مما أدى إلى حدوث تدهور كبير في حالة جميع الطرق.

وكانت نتيجة ذلك أن كثفت الحكومة الاتحادية جهودها في تمويل طرق مقسومة جديدة ذات مستوى رفيع من التصميم والنوعية وإنشائها. واشترطت أن تكون الطرق بأربع أو ست حارات مقسومة الاتجاه بحيث يكون هناك حارتان أو ثلاث في كل اتجاه تفصلها جزيرة وسطية ويحظر دخول الطريق أو الخروج منه إلا عند مداخل أو مخارج معينة. كما يجب أن لا تكون التقاطعات على المستوى نفسه. وفي البداية، كان تمويل هذه الطرق عن طريق

الشكل (٢,٢). إنشاء السكك الحديدية للتوسع إلى الغرب. منظر لموقع إنشاء خلال الأيام الأولى للسكك الحديدية.

(COURTESY OF PARAMOUNT PICTURES)

فرض رسوم للمرور. وفي عام ١٩٥٤م صدرمرسوم اتحادي وآخر في ١٩٥٨م، بإنشاء ٦٦,٠٠٠كم من الطرق المقسومة السريعة ذات المستوى الرفيع موزعة بين جميع الولايات وتربط المدن الرئيسية ببعضها. مُوِّلت هذه المشاريع بوساطة فرض ضرائب على المواد النفطية المستعملة في صناعة النقل وإنشاء صندوق مالي خاص بذلك.

ونظرا لثقل حمولة البضائع المنقولة على الشاحنات، فقد استعملت الخرسانة الجيدة المسلحة في رصف العديد من الطرق. ويوجد أكثر من ١٣٧,٠٠٠كم، من أصل ٤٠٨ ملايين كيلومتر، من الطرق المرصوفة بالخرسانة وأكثرها في المناطق الحضرية. وتحتوي مواصفات إنشاء الطرق الجديدة في الولايات المتحدة الآن على استخدام أفضل أنواع الخرسانة والزفت المقوى، وإنشاء رصفيات شديدة التحمل آخذين في الاعتبار المبادئ الحديثة لهندسة التربة وتصريف مياه الأمطار. انظر الشكل (٣,٢).

وفي أوائل القرن العشرين، وبعد اكتشاف حقول النفط واستخراجه وتصفيته، ساد الاعتقاد أن هذا المورد الثمين لا ينضب. فقد استعمل البنزين وقوداً لمحرك الاحتراق الداخلي المستخدم في السيارات، وذلك لنظافة احتراقه نسبيا وسهولة استعماله ولخفته. وهكذا ساد استعمال النفط بكميات كبيرة في جميع أنحاء العالم، وخاصة في الولايات المتحدة الأمريكية، إلى أن استيقظ العالم على الحقيقة الثابتة وهي أن موارد النفط قد تنضب في يوم من الأيام، ولذلك زاد الطلب على استعمال سيارات أصغر حجما وأكثر اقتصادا للمحروقات. ففي عام ١٩٠٤م، كان هناك ٥٥,٠٠٠ سيارة في الولايات المتحدة. وكانت صناعة السيارات آنذاك مركزة في مدينة ديترويت الأمريكية. ونظرا لاستعمال أساليب إنتاج حديثة واسعة النطاق، فقد أصبح من الممكن إنتاج أعداد كبيرة من السيارات بأسعار يستطيع معظم الناس دفعها. ومما ساعد عملية الإنتاج المكثف وسهولة اقتناء السيارات تصميم قطع غيار لاستعمالها في عدد مختلف من السيارات، واستخدام خطوط التجميع المتحركة لإنتاج سيارات قياسية، واختراع جهاز بدء تشغيل المحرك الذاتي.

وعند انتهاء الحرب العالمية الأولى عام ١٩١٨م، كان هناك ٥,٥ مليون سيارة خاصة في الولايات المتحدة الأمريكية. والآن، فقد تضاعف هذا العدد إلى ٩٣ مليون سيارة خاصة و١٨ مليون شاحنة. وقد ازدادت سعة الشاحنات وحمولتها خلال هذه الفترة من ٥ إلى ١٠ طن في العشرينيات حتى وصلت إلى ٢٠ ـ ٤٠ طن في الوقت الحاضر. وهناك شاحنات خاصة تستعمل في أشغال التعدين والردميات تتراوح حمولتها بين ٨٠ و١٥٠ طناً.

وأما تطور الطرق في البلاد العربية عبر التاريخ، فإن موقع هذه البلاد الجغرافي الممتاز بين الشرق والغرب جعلها تمتلك شبكات نقل واسعة منذ العصور الأولى لتاريخ الإنسان. فقد ذكر المؤرخون وجود أول طريق مرصوف في نحو عام ٣٥٠٠ ق.م. في بلاد وادي الرافدين، ووجود تقنية متقدمة لإنشاء الطرق باستعمال المواد الرابطة التي تساعد على تماسك طبقات الطريق ببعضها. وقد انتقلت هذه الأفكار إلى الغرب، وقام الرومان بتطوير شبكة من الطرق البرية والقنوات المائية وإنشائها لتربط أجزاء إمبراطوريتهم بالعاصمة روما، واستعمالها لنقل البضائع والمحاصيل أثناء السلم، والجيوش والمعدات أيام الحروب. وقام المسلمون أثناء الفتح الإسلامي وبعده باستعمال شبكات الطرق الموجودة آنذاك وتحسينها وتوسيعها لربط الجزيرة العربية بالأقطار الإسلامية. وكان أحد أهداف النقل آنذاك تسهيل السفر إلى مكة المكرمة والمدينة المنورة لأداء فريضة الحج، والتنقل بين المدن لتسهيل الإدارة والتجارة.

الشكل (٢,٣). طريق سريع حديث مع محولاته – مخرج من طريق سان فرانسيسكو أوكلاند السريع بولاية كاليفورنيا الأمريكية.
(COURTESY OF HIGHWAY MAGAZINE ARMCO DRAINAGE AND METAL PRODUCTS, INC., MIDDLETOWN, OHIO)

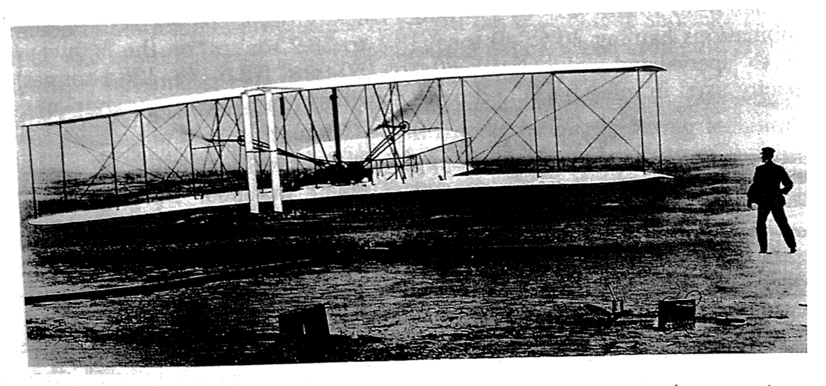
وقد قل الاهتمام بإنشاء الطرق البرية وتوسعتها وصيانتها في أواخر العهد العباسي وما تلاه إلى أواخر القرن التاسع عشر الميلادي حيث بدأت نتائج الثورة الصناعية والتقنية الحديثة في النقل البري التي طورت في أوروبا وأمريكا الشمالية تظهر في بعض البلاد العربية. فقد بدأ العمل بإنشاء عدد من الطرق البرية المرصوفة والسكك الحديدية أنشئت في الربع الأول من القرن العشرين نذكر منها خط الحجاز الحديدي الذي ربط بين دمشق وعمان والمدينة المنورة.

ولكن التطور الكبير في إنشاء الطرق والموانئ والمطارات في البلاد العربية حدث بعد استقلال معظم هذه الدول، وخاصة خلال العشرين سنة الماضية. فقد تم معظم التطور والتوسع في شبكات الطرق العربية نتيجة للواردات الهائلة من عائدات النفط الذي أصبح سلعة عالمية استراتيجية يعتمد عليها العالم كله، ليس، فقط، وقوداً لدفع وسائل النقل، ولكن لتشغيل عجلات الصناعة العالمية والمعدات الزراعية كلها. وهكذا، فقد قامت الدول العربية، وخاصة النفطية منها، بتنفيذ برامج متكاملة وضخمة لربط أجزاء البلد الواحد، ولربط هذا البلد بالدول العربية الأخرى والعالم الخارجي. وعلى سبيل المثال، بلغت تكلفة شبكة الطرق المعبدة التي أنشأتها المملكة العربية السعودية خلال السنوات الخمس والعشرين الماضية أكثر من ١٢٠ ألف مليون ريال سعودي. وسنبحث شبكة الطرق العربية بتفصيل أكثر في الفصل الثالث.

الطيران Flight. إن قصة تطور الطيران عبر العصور قصة مثيرة. فمنذ القدم، والإنسان يتطلع إلى المخلوقات التي تطير ويحاول تقليدها ولكن النتائج كانت مأساوية حتى القرن العشرين. ففي سنة ١٩٠٠م، نجح العالم الألماني زيبلن (Zeppelin) في إنشاء سفينة هوائية وإقلاعها في شكل صاروخي مصنوعة من الألومنيوم. فقد كان طول هذه السفينة ١٢٧ متراً وكانت مزودة بـ ١٦ كيساً مملوءً بغاز الهيدروجين (أخف من الهواء) وتسير بمحركين قوة كل منهما ١٦ حصانا من نوع دملر. واستطاعت هذه السفينة، التي تزن ٩ أطنان الإقلاع والوصول إلى سرعة ٣٢ كم في الساعة. واستخدمت هذه السفينة الهوائية في مهام الاستطلاع والقصف الجوي فوق الجزر الإنجليزية في الحرب العالمية الأولى. وقامت ألمانيا بصنع هذه السفن الهوائية أولا، ثم تبعتها إنجلترا والولايات المتحدة الأمريكية. كما استعملت أمثال هذه السفينة في رحلات حول العالم والقطب الشمالي. ولكن، بعد أن وقعت كوارث عديدة نتيجة صعوبة التحكم بهذه السفن خلال العواصف، ونظرا للتكلفة الباهظة لصنعها وتشغيلها، فقد توقف تطوير تصميم هذه السفن كما توقف استعمالها.

وفي سنة ١٩٠٣م، نجح الأخوان رايت (Wright Brothers) بالطيران مدة ٣ دقائق بطائرة أثقل من الهواء من صنعهما، وذلك في كيتي هوك (Kitty Hawk) بولاية كارولينا الشمالية. وأقلعت الطائرة هذه ودفعت بمحرك قوته ١٦ حصاناً يدار بالبنزين ويزن ٣,٢ كغم للحصان الواحد. وكان الطيار يقود الطائرة وهو مستلق تماما، الشكل (٢,٤).

واستعملت الطائرات في الحرب العالمية الأولى (١٩١٤-١٩١٨م) للاستطلاع والهجوم بالقنابل على مواقع العدو. وطُوِّر آنذاك جسم الطائرة وشكلها، ولكن أهم تقدم كان تصميم محرك خفيف الوزن يعتمد عليه.



الشكل (٤, ٢). طائرة الأخوين رايت. بداية عصر الطيران حيث أقلعت الرحلة الأولى من رمال كيتي هوك في ولاية كارولينا الشمالية في ١٧ ديسمبر ١٩٠٣م وقطعت الرحلة ٣٦,٦ متر في ١٢ ثانية.

(COURTESY UNITED AIR LINES)

وبعد نهاية الحرب العالمية الأولى، أصبح الطيران داخل الولايات المتحدة، وبين القارات، وحتى الطيران حول العالم أمرا واقعا. وأبرز رحلة في هذا المضمار هي رحلة شارلز ليندبرغ (Charles Lindbergh) في عام ١٩٢٨م، عندما عبر وحيداً المحيط الأطلسي بطائرته ذات المحرك الواحد التي سماها «روح سانت لويس».

واستعملت الطائرات، أيضا، في نقل البريد عبر الولايات المتحدة منذ عام ١٩١٦م. فقد شُغّل خط بريدي جوي بين مدينتي نيويورك وسان فرانسيسكو في عام ١٩٢٤م. وفي عام ١٩٢٥م، سمحت الحكومة الاتحادية لشركات الطيران التجارية بالتعاقد مع مصلحة البريد الحكومية لنقل البريد جوا. وفي عام ١٩٢٦م، أصدرت الحكومة الاتحادية مرسوم التجارة الجوية الذي أرسى قواعد سلامة الطيران والترخيص وضبط حركة الطيران الجوي. وفي عام ١٩٣٨م، صدر مرسوم الطيران المدني الذي وضع على عاتق مصلحة الطيران المدني تنظيم حركة الطيران المدني وصناعة النقل الجوي وضبطهما. وكان من أبرز واجبات هذه المصلحة هي استحداث الطرق والمسارات الجوية والتحكم بحركة النقل الجوي فيها. وفي عام ١٩٥٨م، عُدل مرسوم الطيران المدني ليعطي صلاحيات تامة لضبط حركة الملاحة في المجال الجوي للولايات المتحدة لمصلحة الطيران الاتحادية التي أصبحت في عام ١٩٦٨م جزءا من وزارة النقل الاتحادية تحت اسم مديرية الطيران الاتحادية. واستمر ضبط أسعار الطيران الجوي والأمور الاقتصادية الأخرى منذ عام ١٩٢٨م تحت مجلس الطيران المدني.

وبقدوم عام ١٩٤٠م، أصبح من الممكن إنشاء خدمات طيران تجارية مريحة واقتصادية ومأمونة نتيجة التقدم التقني في محركات الطائرات ووقودها والاتصال باللاسلكي ووسائل الملاحة الجوية الإلكترونية والمعادن القوية والخفيفة الوزن وعدد آخر من الاختراعات المفيدة. وتعد طائرة الـ دي سي ٣ ذات المحركين التي تتسع لـ ١١ راكبا وثلاثة ملاحين وسرعة طيران تبلغ ٢٩٠ كم بالساعة مثالاً على ذلك. وفي البداية، طوّرت الطائرات للاستعمال الحربي ثم أمكن الاستفادة منها للأغراض المدنية. فالطائرات التي صممت واستعملت في الحرب العالمية الثانية حاملة قنابل أو جنود استعملت لنقل البضائع لمسافات بعيدة. وقد سمح استعمال الوقود السريع الاشتعال والتقدم في التحكم بالضغط داخل الطائرة بما يتلاءم مع طبيعة الإنسان بجعل الطيران في الطبقات العليا للغلاف الجوي حقيقة واقعة. وقد ساعد استعمال الرادار في زيادة مستوى الراحة والأمان خلال الطيران، كما ساهمت علوم التربة وهندسة رصف المدارج في قدرة هذه الطائرات على الهبوط بسلام. ومع اختراع المحرك النفاث الذي استعمل أولا في الحرب ثم عُدّل للأغراض المدنية، أصبح من الممكن تصنيع طائرات تنقل ٣٠٠ شخص كطائرات بوينغ ٧٤٧ ودي - سي ١٠، وتطوير الصواريخ مثل صواريخ ف١ وف٢ الألمانية الصنع التي استعملت خلال الحرب العالمية الثانية ومكنت الإنسان من السفر إلى القمر والتطلع إلى الفضاء الخارجي. وفي هذا المجال، فقد استطاع علماء الطيران صنع طائرات تفوق سرعة الصوت لأغراض عسكرية. ونجحت الجهود الفرنسية - الإنجليزية في تصنيع طائرة الكونكورد التي تفوق سرعتها سرعة الصوت واستعمالها للنقل الجوي التجاري، وكذلك قام الروس بصناعة طائرة طوبوليف، ولكن الطائرات الأسرع من الصوت تعاني آثارها البيئية الضارة وارتفاع تكاليف تصميمها وتصنيعها وتشغيلها. ومن الابتكارات الأكثر نجاحا في صناعة الطائرات اختراع الطائرة المروحية (الهليكوبتر)

التي أثبتت نجاحها في خدمات النقل التجارية من حيث نقل الإنسان إلى الأماكن الوعرة، واستعمالها لنقل الجنود في محاور القتال، وحتى استعمالها لأغراض عسكرية أخرى كما في حرب فيتنام.

النقل المائي Waterways. إن انعقاد مؤتمري الملاحة المائية في مدينة كليفلاند، والأنهار والموانئ في مدينة بلتيمور عام ١٩٠٠م أعاد الاهتمام من جديد بالنقل المائي. ففي عام ١٩٠٢م، أنشأت الحكومة الاتحادية مجلس مهندسي الجيش لإدارة جميع المشاريع المتعلقة بتحسين النقل المائي داخل الولايات المتحدة الأمريكية. وبقدوم عام ١٩٠٣م، خصصت ولاية نيويورك مبلغ ١٠١ مليون دولار لإعادة بناء قناة إيري (Erie) وتحسينها. وفي عام ١٩٢٩م، انتهى مشروع إنشاء قناة عمقها ٢,٧٤ م في نهر الأوهايو (والتي بدأ العمل بها في عام ١٩٠٧م)، تصل مدينة بترسبرغ في ولاية بنسلفانيا وكايرو في ولاية إيلينوى ونهر المسيسيبّي. وقد زاد خلال السنين اللاحقة النشاط الملاحي في مناطق نهر المسيسيبّي العليا وخاصة في الأنهار التي تصب فيه.

وفي أواخر الثلاثينيات من القرن العشرين بدأت السفن التي تعمل بالديزل تحل محل السفن البخارية. ووضعت محركات السفن النهرية داخل غاطسها لتسهيل استعمالها في المياه الضحلة. وتتراوح قوة دفع تلك السفن بين ١,٠٠٠ و ٥,٠٠٠ حصان، وطولها بين ٣٦ و ٦٣ متراً، وعرضها بين ٦ و ١٧ متراً، وتزيح ما عمقه نحو ٢,٥ متر من الماء. والآن، يجري إنشاء سفن نهرية بقوة ١٠٠٠٠ حصان. والسفن النهرية الحديثة اليوم مجهزة بالهاتف اللاسلكي والرادار اللذين يضمنان سلامة التشغيل وخاصة عندما تكون الرؤية صعبة في الأحوال الجوية الرديئة. وقد زاد استعمال الرافعات الآلية من سرعة وسلامة تعبئة السفن وتفريغها في الموانئ مما يخفض من تكلفة النقل عموماً.

ومع الحرب العالمية، أصبح استعمال السفن المائية مقتصرا على نقل البضائع والسلع الحربية في دعم المجهود الحربي. واليوم، تتراوح حمولة الناقلات المائية، بطول ٢١٣ متراً، بين ١٥٠٠٠ و ٥٠٠٠٠ طن من البضائع. وساعد استعمال الآليات الحديثة في تفريغ الحديد الخام وتحميله كثيرا على جعل هذه الوسيلة للنقل اقتصادية، إذ إن العملية التي كانت تستغرق عدة أيام أصبحت اليوم لا تستغرق أكثر من عدة ساعات. وسنتحدث في الفصل الثالث عن الموانئ في البلاد العربية.

خطوط الأنابيب Pipelines. سمح استعمال اللحام في توصيل الأنابيب عوضا عن استعمال البراغي في تطوير أنابيب قوية قادرة على تحمل ضغط عال والضخ لمسافات طويلة. فقد بلغ طول أول أنبوب يحمل الغاز، والذي أنشيء عام ١٩١١م على الطريقة الحديثة ٣٠٥ أمتار في مدينة فيلادلفيا. وأنشيء أول أنبوب للضغط العالي بطريقة اللحام الكهربائي في عام ١٩٢٠م. وفي عام ١٩٢٨م، أصبح اللحام الكهربائي واستعمال أنابيب ذات نوعية عالية حقيقة واقعة. ومنذ ذلك الوقت، فقد اتسع استعمال الأنابيب القادرة على تحمل الضغط العالي ولمسافات طويلة ليشمل ليس، فقط، نقل النفط الخام بل نقل مشتقاته من بنزين وكيروسين وغاز طبيعي.

وواكب مسيرة التقدم في صناعة الأنابيب وإنشائها تقدم مماثل في معدات الضخ. فالمضخات التوربينية والمركزية ذات الضغط العالي التي تعمل بالطاقة الكهربائية أو تتغذى بالديزل أبطلت استعمال المضخات الثقيلة التي كانت تعمل على البخار. كذلك ساعد استعمال الحاسوب في ضبط الضغط وكمية الضخ على تحديث هذه الصناعة. كما ساعد استعمال اللاسلكي والمايكروويف كثيرا على الاتصال الحيوي بين محطات الضخ.

وآخر ما توصلت إليه علوم الأنابيب هو نقل الأجسام الصلبة عبر الأنابيب. ففي عام ١٩٥٧م أنشيء أنبوب بطول ١١٦كم لنقل معلقات الغيلسونايت بين بونانزا في ولاية يوتا وغيلسونايت في ولاية كولورادو الأمريكية. وفي سنة ١٩٥٨م أنشيء خط أنابيب بطول ١٧٤ كم لنقل الفحم الناعم بين جورج تاون في ولاية أوهايو إلى كليفلاند في الولاية نفسها. وقد برهن هذا المشروع إمكانية إنشاء أنابيب لنقل المواد الصلبة ولكن التكلفة كانت أكثر مما يجعل الخط اقتصاديا.

النظم الحديثة Innovative Systems. شهد الثلث الأخير من القرن العشرين أبحاثا عديدة وتطويرا كبيرا لنظم النقل. فقد اخْتُبرت وسائل نقل حديثة تسير فوق وسادة هوائية، وأخرى توجه بوساطه خط حديدي وسطي أو جانبي. وبلغت سرعة هذه الوسائل أكثر من ٤٨٣ كم في الساعة وطورت من أجل استعمالها لنقل الركاب بين المدن والمناطق. ويجري تطوير وسائل مشابهة، وبسرعة أقل، داخل المدن. وتمت تجربة هذه النظم، ولكن لم يستعمل منها على نطاق تجاري واسع سوى نظام داخل بعض المطارات في الولايات المتحدة، وناقلة برمائية تطفو على وسادة من الهواء فوق سطح الماء تستعمل حاليا في نقل الركاب في القنال الإنجليزي الذي يفصل بريطانيا عن فرنسا.

خلاصة
SUMMARY

شهد القرن العشرين انتشار استعمال السكك الحديدية على نطاق واسع وانحسارها في آن واحد، ربما لفترة مؤقتة، فقط وذلك نتيجة لازدياد استعمال السيارات وإنشاء الطرق المرصوفة وانتشار النقل الجوي الذي أصبح منافسا وخاصة في نقل الركاب. وأصبحت السكك الحديدية منافسا قويا لوسائل النقل المائي في نقل البضائع السائبة. وتوفر وتقنية النقل عبر الأنابيب بديلا جيدا لنقل المواد السائلة وبعض أنواع المواد الصلبة. وفي السنوات الأخيرة، أصبح النقل داخل المدن ظاهرة تحتاج الاهتمام، ولذلك، فإن الأبحاث والتجارب تسير على قدم وساق للحصول على وسائل نقل فعالة لسد حاجة النقل داخل المدن وبين المدن، للركاب والبضائع.

أسئلة للدراسة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - ما مساهمة الرومان في هندسة النقل؟
٢ - أعط إيضاحات مهمة غير التي ورد ذكرها في هذا الفصل لكل من العوامل العديدة المؤثرة في تنمية النقل.

٣ – قارن بين المساهمات التي قدمها كل من ترساغوت وتلفورد وماكآدم، واذكر الحقائق الهندسية التي تمثلها تلك الأعمال.

٤ – لماذا نستطيع القول إن بداية القرن التاسع عشر كانت فترة حاسمة في تنمية وسائل النقل وعلومه؟

٥ – إن تطور السكك الحديدية في الولايات المتحدة كان سلسلة من الابتكارات الجديدة والشجاعة في التغلب على الصعاب. اشرح المعنى التقني لهذه الجملة المهمة والعوامل التي سمحت أو فرضت هذا النوع من التنمية.

٦ – إذا استعملنا وسيلة نقل حديثة (سيارة أو طائرة أو باخرة حديثة)، لخّص التطور التقني الذي لا يتعلق بالنقل جعل وسيلة النقل هذه ممكنة.

٧ – ما العوامل التقنية التي جعلت قطارا حديديا للبضائع يتألف من ١٥٠ عربة ويسير بسرعة ٧٥ كم في الساعة حقيقة واقعة؟

٨ – اشرح لماذا انتشر استعمال الأنابيب في نقل السوائل، كالنفط ومشتقاته، بعد العشرينيات من القرن العشرين.

٩ – ما العوامل التقنية التي ساعدت على انتشار استعمال السيارة الخاصة لخدمة السواد الأعظم من الناس؟

١٠ – قم بإعداد رسم بياني زماني يوضح التغير في متوسط السرعة، والسرعة القصوى التي أمكن الوصول إليها خلال الفترة من ٥٠٠٠ سنة قبل الميلاد وحتى الوقت الراهن.

١١ – اربط بين معدل نمو المدن والضواحي ودرجته بالتقدم التقني لعلوم النقل.

قـــراءات مقترحــــة
SUGGESTED READINGS

1. Caroline MacGill and a staff of collaborators, *History of Transportation in the United States before 1860*, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C., 1917.
2. Nicholas Woods, *Treatise on Railroads*, Longman, Orme, Brown, Green, and Longman's, London, 1838.
3. Charles Francis Adams, Jr., *Railroads: Their Origin and Problems*, G. P. Putnam's Sons, New York, 1878.
4. Michel Chevalier, *Histoire et description des voies de communication aux Etats Unis et des travaux d'art qui en dependent*, Librairie de Charles Gosselin, Paris, 1840.
5. Harlan Hatcher, *Lake Erie*, and others in his Lakes and Rivers series, Bobbs-Merrill, New York, 1945.
6. Kent T. Healy, *The Economics of Transportation in America*, Ronald Press, New York, 1940, Chapters 1 through 9.
7. Franz von Gerstner, *Report on the Interior Communication of the United States*, Vienna, 1843.
8. Harlan Hatcher, *A Century of Iron & Men*, Bobbs-Merrill, New York, 1950.
9. Charles Francis Adams, Jr., *A Chapter of Erie, Fields*, Osgood and Company, Boston, 1869.
10. Mark Twain (Samuel L. Clemans), *Life on the Mississippi*, Harper & Brothers, New York.
11. Charles Edgar Ames, *Pioneering the Union Pacific*, Appleton-Century-Crofts, New York, 1969.
12. Christy Borth, *Mankind on the Move*, Automative Safety Foundation, Washington, D.C., 1969.
13. Frank J. Taylor, *High Horizons*, McGraw-Hill, New York, 1959.

الفصل الثالث

نظـــام النـــقـــل
THE TRANSPORTATION SYSTEM

رغم أننا نطلق كلمة «نظام» على وسائل النقل ومرافقه، إلا أنه لا يوجد في الواقع نظام أو مؤسسة واحدة متكاملة مسؤولة عن جميع نشاطات النقل ومرافقه. ولهذا، فإن كلمة نظام هنا ترمز إلى عدد من الأنظمة الفردية والمرافق التابعة لها التي يمكن أن تكون ملكا للدولة، أو ملكا خاصا، أو بالمشاركة، أو خاضعة تماما أو جزئيا للقوانين العامة. وقد تطورت نظم النقل في الماضي بقدر قليل من التخطيط والتنسيق بسبب الحاجة الملحة إليها وضآلة الموارد المادية المخصصة لها. ولهذا، نجد التفاوت البيّن في نواحي الملكية والخدمة بين نظم النقل المختلفة، ليس، فقط، داخل البلد الواحد، بل بين البلدان، أيضا.

وسنحاول في هذا الفصل إيضاح مكونات نظام أو نظم النقل المختلفة ودور الدولة في إنشاء أنظمة النقل ومراقبتها وصيانتها وتشغيلها؛ وأخيرا، سنتحدث عن حجم شبكة النقل بالنسبة للتجهيزات والمعدات والحركة. وبما أن هناك تشابها كبيرا بين نظم النقل في الدول العربية ودور الدولة في ذلك، فإننا سنأخذ المملكة العربية السعودية مثالاً لبحثنا دور الدولة في إنشاء أنظمة النقل ومراقبتها وتنظيمها وصيانتها وتشغيلها؛ وسنأخذ الدول العربية كمجموعة في بحثنا حجم شبكة النقل بالنسبة للتجهيزات والمعدات والحركة.

تصنيف وسائل النقل
CARRIER CLASSIFICATIONS

مكونات النظام الموحد Components of the United System. يمكن تصنيف وسائل النقل ونظمه بطرق عديدة. والتصنيف البديهي قد يكون على أساس نوع المرور أو الحركة، أي وسائل نقل السلع والبضائع ونظمه، وأخرى

لنقل الركاب والمسافرين . ويمكن تقسيم نظم نقل الركاب إلى حركة داخل المدن وحركة بين المدن . أما نظم نقل السلع فيمكن تقسيمها على أساس نوع السلع المنقولة أو مصدرها أو وجهتها . وهناك تقسيم آخر يفرق بين وسائل النقل التي تعمل بالأجرة وتلك ذات الملكية الخاصة . ويمكن، أيضا، تقسيم نظم الأجرة إلى ناقلات عامة وناقلات متعاقدة . ويمكن، أيضا، التمييز بين النقل الفردي والنقل العام . أما الناقلات فيمكن تصنيفها على أساس نوعها التقني – سكك حديدية، طرق مرصوفة، طرق مائية، سيور متحركة، أنابيب وغيرها . وكذلك يمكن استعمال تصنيف آخر حسب نوع قوة الدفع والحركة – محرك احتراق داخلي أو محرك نفاث أو طاقة كهربائية أو بخارية، . . إلخ . وكذلك يمكن التصنيف على أساس وحدة النقل، أي فيما إذا كانت الوحدة مفردة كالسيارة الخاصة، أو وحدات متعددة أو مُركّبة كالقطارات، أو نظم ذات حركة مستمرة كحركة السوائل في الأنابيب أو السيور المتحركة . ويجب أن يلاحظ القارئ أن هذه التصانيف لا تعطي فروقا مطلقة توفر التمييز الكامل بين نظام وآخر، لهذا قد يصبح من الصعب تصنيف نظم النقل بدقة عالية .

نظم وسائط النقل Modal Systems. يمكن تصنيف نظم وسائط النقل إلى سبعة نظم أساسية :

١ – **الطرق الحديدية Railways:** تستعمل وسائل النقل في هذا النظام تقنية العجلة المركزة على خط حديدي . ويمكن أن يكون هذا الخط صلبا كما هو الحال في السكك الحديدية التقليدية، أو مرنًا كما هو الحال في العربات الهوائية المعلقة . ويشمل هذا النظام وسائل النقل بالسكك الحديدية المعروفة بين المدن، والنقل السريع أو الخفيف بالسكك الحديدية داخل المدن، والعربات الهوائية المعلقة، والمركبات الكهربائية التي تسير على خط حديدي أحادي القضبان داخل المدن، وكذلك المركبات التي تسير على وسادة هوائية فوق القضبان .

٢ – **الطرق المرصوفة Highways:** تعتمد وسائل نقل هذا النظام على عجلة مطاطية تسير على سطح قوي أملس كما هو الحال في السيارات والشاحنات والحافلات والدراجات الهوائية والنارية .

٣ – **الطرق المائية Waterways:** يعتمد هذا النظام على القنوات المائية الطبيعية أو الصناعية والأنهار والبحار والمسطحات المائية التي تستخدم طريقاً للحركة . وتشمل هذه الوسائل التصاميم المختلفة للسفن والمعديات والزوارق والصنادل والغواصات وغيرها من وسائل النقل المائي .

٤ – **الطرق الجوية Airways:** يعد استعمال الأجواء على ارتفاعات متفاوتة من سطح الأرض ضروريا لهذا النظام . وتشمل وسائل النقل الجوي الطائرات النفاثة والمروحية وكذلك البالونات والطائرات العمودية والطائرات الشخصية الصغيرة والصواريخ والسفن الفضائية .

٥ – **خطوط الأنابيب Pipelines**: يعتمد هذا النظام على ضغط المواد السائلة داخل أنابيب طويلة تحتوي السوائل وتوفر لها الطريق. وعادة ما تستعمل الأنابيب لنقل الماء أو الصرف الصحي أو النفط أو مشتقاته أو الغاز أو البخار أو الحرارة وعدد آخر من المواد السائلة والغازية. كما يشمل هذا النظام خطوط أنابيب نقل المواد الصلبة.

٦ – **السيور المتحركة Conveyors**: تعتمد هذه التقنية على سير (قشّاط) يتحرك فوق عجلات تدار آليا، ويستعمل هذا النظام لنقل المواد السائبة كالحبوب والحصى والفحم وغيرها لمسافات طويلة. وقد طُبِّقت تقنية السيور المتحركة على السلالم المتحركة والأرصفة المتحركة وغيرها من وسائل نقل الأفراد داخل المدن.

٧ – **نظم النقل المتعددة الوسائط Multimodal Systems**: تجمع هذه التقنية بين عدد من وسائط النقل المذكورة أعلاه لتوفير خدمة فعالة، مثل استعمال المقطورات والحاويات في النقل بالشاحنات أولا ثم على السكك الحديدية. وفي هذه الحالة، يُجمع بين سرعة النقل واقتصادياته بالسكك الحديدية لمسافات طويلة، ومرونة حركة الشاحنات في المحطات وداخل المدن. وهذه النظم سمحت مؤخرا للمسافرين باصطحاب سياراتهم معهم على القطار نفسه، كما صُمّمت حافلات تستطيع السير على السكك الحديدية بالإضافة للطرق.

وحدة النقل Unit of Carriage. يمكن التمييز بين نظم النقل على أساس النوع السائد للوحدات المنقولة بوساطة النظام. فهناك وحدات نقل الركاب ووحدات نقل السلع.

وتتميز وحدات نقل الركاب بالملكية الفردية لوحدة النقل التي تسمح بدرجة كبيرة من المرونة والراحة والخصوصية والحرية مما يجعل هذا النوع من وحدات النقل مرغوبا فيه لدى جميع الناس، و أدى إلى الطلب العالي والازدياد الكبير في أعداد السيارات والدراجات النارية والهوائية. وقد أدى هذا الازدياد، وخاصة في أعداد السيارات، إلى مشكلات المرور داخل المدن وما يتبع ذلك من الاختناق المروري والتأثيرات العكسية على البيئة. أما النقل العام فيركز على النقل الاقتصادي لأعداد كبيرة من الركاب بأقل عدد من مركبات النقل. ويستعمل النقل العام حافلات قادرة على استيعاب عدد يتراوح بين٢٥ و ٥٥ راكبا، أو قطارات للنقل السريع داخل المدن تحتوي على ٦ إلى ١٠ عربات تستوعب الواحدة منها مابين ٦٠ و ٢٠٠ راكب أو أكثر (بما في ذلك الواقفون)، أو قطارات النقل السريع بين المدن التي تحتوي على عدد يتراوح بين ٨٠ و١٦٥ مقعدا. أما الطائرات الحديثة فيمكن أن تستوعب عدداً يتراوح بين ٢٠٠ و ٤٠٠ راكب في آن واحد.

أما ناقلات السلع الخفيفة فتتمثل في الشاحنة الصغيرة التي تخدم، عادة، شخصا واحدا أو مزرعة أو مؤسسة صغيرة، وتستخدم في نقل الحمولات الخفيفة وتوزيع البريد والطرود. أما الشحن العام أو شحن المواد السائبة، فيتم عبر خطوط الأنابيب وحاملات المواد السائبة والسفن والقطارات المؤلفة من ٨٠ إلى ١٥٠ عربة، وهذه،

عادة، تنقل سلعا سائبة كالفحم والمواد الأولية والحبوب والنفط ومشتقاته . ويعد استخدام الحاويات في نقل البضائع غير السائبة والصغيرة محاولة لتخفيض تكاليف النقل أسوة بنقل المواد السائبة .

النظم الخاصة مقارنة بنظم الأجرة Private vs. for Hire Systems. إن نظم النقل الخاصة في ازدياد مستمر . وبالطبع ، فإن السيارة الخاصة هي الأداة الأكثر استعمالا لنقل الناس وسلعهم . وهناك زيادة في استعمال الطائرات الخاصة في النقل بين المدن . أما ناقلات السلع فتتراوح بين الشاحنة الصغيرة التي تخدم مؤسسة أو مزرعة صغيرة وأسطول كامل من الشاحنات الكبيرة التي تخدم الأجزاء الرئيسية من الصناعة . وعادة ما يعفى النقل الخاص من أنظمة النقل، فيما عدا رخصة التشغيل وقوانين المرور والسلامة ، فقط ، إذ إن الشاحنة في هذه الحالة ليست للأجرة .

أما نظم الأجرة فتركز نشاطها الأساسي للحصول على الربح ، ولهذا تخضع لقوانين اقتصادية وإدارية مختلفة بالإضافة إلى قوانين المرور والسلامة . وسبب اخضاع نظم الأجرة إلى الرقابة والقوانين العامة هو حماية المواطن والمستهلك من الاستغلال غير القانوني الذي قد يمارسه أصحاب نظم النقل بأجر .

الناقلات العامة Common Carriers. تقدم هذه الناقلات خدماتها إلى كل من يرغب باستعمالها . وتخضع هذه إلى رقابة الدولة وخاصة في تحديد التسعيرة وقوانين السلامة ومستوياتها . وتشمل هذه الناقلات نظم السكك الحديدية وشركات النقل الجوي أو مؤسساته وخطوط الشحن البري والنقل العام داخل المدن وخارجها . وعادة ما تحتاج هذه الناقلات إلى ترخيص معيّن من الدولة للعمل على خط معيّن ، ولا تستطيع إلغاء خط ما قبل الحصول على إذن مسبق من الدولة ، وذلك لحماية المستهلك الذي يعتمد على هذه الخدمة . وعادة ما تتعهد المؤسسة صاحبة العلاقة بإسداء الخدمة دون التمييز بين الأشخاص أو المناطق أو الأشياء المنقولة . وتضمن الدولة تسعيرة معينة لكل نوع من أنواع الخدمة .

ناقلات التعاقد Contract Carriers. تقتصر خدمة هذه الناقلات على أولئك الذين يتعاقدون معها لأداء خدمة نقل معينة . وتوجد هذه الناقلات غالبا في مجال نقل البضائع بوساطة الشاحنات التي يمكن أن يملكها ويقودها الأفراد . ويخضع أصحاب هذه الناقلات لرقابة الدولة من نواحي الترخيص ووزن الحمولة والتسعيرة ، إلا أن التسعيرة ، في بعض الأحيان ، تعتمد على أحوال السوق السائدة .

ملكية مكونات نظام النقل Ownership of System Components. تعتمد ملكية مكونات نظام النقل على الجهات التي ساهمت في إنشائها . فمثلا ، نرى أن خطوط السكك الحديدية والمطارات والطرق المرصوفة في المملكة العربية السعودية أنشأتها الدولة ، ولذلك ، فإن ملكية هذه المرافق تعود للدولة . أما الشاحنات والسيارات الخاصة وسيارات الأجرة التي تستعمل الطرق ، فإنها ، بالطبع ، تابعة للمؤسسات والأشخاص الذين اشتروها . وأما نظام النقل العام فيمكن أن تكون الملكية فيه خاصة وخاضعة للقوانين المرعية ، كما هو الحال في كثير من شركات النقل العام في

الولايات المتحدة، أو تكون بالمشاركة مع الحكومة كما هو الحال في ملكية الشركة السعودية للنقل الجماعي، إذ إن حصة الحكومة بلغت ٣٠٪ عند إنشائها في عام ١٩٧٩م.

وبما أن الدولة تنشيء الطرق المعبدة للاستعمال العام، فإن المواطن قد يسهم في تغطية بعض تكاليف الإنشاء والتشغيل والصيانة من خلال الرسوم التي قد تفرض على المحروقات والزيوت والإطارات وغيرها من قطع الغيار الضرورية.

أما الخطوط الجوية، فالدولة تملك المطارات وتكون في كثير من الأحيان المالك أو المساهم الأكبر في شركة الطيران الوطنية. وتساهم شركات الطيران الأخرى في تغطية تكاليف المطارات من إنشاء وتشغيل وصيانة من خلال الرسوم التي تدفعها مقابل الهبوط واستعمال مرافق المطار من ورش الصيانة ومكاتب بيع التذاكر والمكاتب الأخرى وصالات الانتظار وغيرها من الخدمات الضرورية. كما تدفع شركات الطيران رسوماً على استخدام المجال الجوي مقابل توجيهها بوساطة محطة التحكم بالحركة الجوية في المطار.

وكذلك الأمر بالنسبة لملكية الموانىء والقنوات الصالحة للملاحة داخل البلاد. إن ملكية الموانىء تكون للدولة التي تنشيء الميناء وتديره وتشغله مقابل تحصيل رسوم دخوله واستعمال الخدمات المتوافرة فيه. فملكية البواخر تكون عادة لشركات خاصة أو لحكومات أخرى وملكية الميناء والمرافق فيه للدولة، أو بالمشاركة مع بلدية المدينة التي يقع فيها الميناء.

السيـاسـات العـامــة والقـــوانين
PUBLIC POLICY AND REGULATION

السياسة العامة للنقـل Public Policies. تتشابه السياسات العامة للنقل في الدول المختلفة إذ إنها تهدف إلى توفير المرافق والخدمات والقوانين الضرورية لتحرك المواطنين وبضائعهم وخدمة الاقتصاد الوطني على شبكات النقل بجميع أنواعها بسلامة وبأقل تكلفة وبدون تأخير. وقد تختلف الآراء في كيفية تحقيق هذه الأهداف والسرعة التي يتم فيها ذلك. ولهذا تُحدّد أهداف معينة تحقق بمجموعها السياسة العامة. ولتنفيذ الأهداف، تناط هذه المسؤوليات بالوزارات المختصة أو المؤسسات أو الإدارات الحكومية التي، بدورها، تضع خططا لتنفيذ أهدافها المحددة، وتقترح القوانين اللازمة وتعرضها على السلطات التشريعية والتنفيذية التي لها صلاحيات إقرار القوانين في البلاد. وأبرز هذه الوزارات التي تتولى تنفيذ السياسات العامة للنقل هي وزارة المواصلات كما هي الحال في المملكة العربية السعودية، أو وزارة النقل أو الأشغال العامة كما هي الحال في أقطار عربية أخرى.

وتعد القوانين جزءا من السياسة العامة، فعلى سبيل المثال، يرجع أصل قوانين النقل في الولايات المتحدة إلى أيام احتكار السكك الحديدية للنقل وما تبعه من سوء الممارسة، مثل رفع أسعار نقل السلع، خصوصا المنتوجات الزراعية الخاصة بالمزارعين، ومن جانب آخر، تخفيض الأسعار للقضاء على صغار المنافسين، حتى وصلت إلى تحديد أسعار نقل أقل من سعر تكلفة خدمة النقل، مما أثر، أيضا، على صناعة النقل على الطرق وأدى إلى إفلاس شركات تشغيل الطرق وإنشائها وتمويلها الذي بدوره أثر على قدرة هذه الطرق على خدمة المواطنين، عموماً.

القوانين Regulations . إن الهدف الأساسي من سن قوانين إصدار لوائح تنظيم النقل هو ضمان تقديم خدمة كافية يُعتمد عليها وعلى درجة عالية من السلامة وبسعر معقول لجميع المواطنين والمناطق في البلاد من دون تمييز ، وكذلك لحماية صناعة النقل نفسها والعمل على ازدهارها ومنع الممارسات غير النظامية بين الناقلين . ولتنفيذ هذا الهدف ، تعطي الدولة الصلاحيات والمسؤوليات لواحدة أو لعدد من الوزارات أو المؤسسات العامة التي ، بدورها ، تتولى تنفيذ القوانين . وقد تشمل هذه المسؤوليات التالي :

تحديد أسعار التعرفة Rates. تقوم وزارة النقل بمراجعة وإقرار رفع أو أسعار تعرفة النقل أو تخفيضها سواء كانت للركاب أو للسلع . وعادة ما تتبع قاعدة عامة في ذلك ، وهي أن تعرفة الأسعار يجب أن تعوّض مؤمن الخدمة ، في الأقل ، تكلفة خدماته . وعادة ما تقوم بتحديد حد أقصى للتعرفة المسموح بها . وقد تسمح لمؤمّن الخدمة بتحصيل تعرفة أقل من الحد الأقصى إذا اختار ذلك ، وذلك لتشجيع التنافس بين الذين يؤمنون الخدمة نفسها لصالح المواطن والمستهلك .

الخدمات Services . للتأكد من توافر مستوى مناسب للخدمة ، تقوم الوزارة أو الجهة المسؤولة بمراجعة كفاءة الخدمة والتأكد من أن مؤمني الخدمة يملكون المعدات المناسبة نوعا وكمّا ، وأنهم يوفرون الخطوط والرحلات الكافية وفي أوقات مناسبة للمواطنين ، وأنهم يمتثلون للوائح التي تنظم النشاط . وكذلك تقوم الوزارة أو الجهة المسؤولة بدراسة معايير السلامة والخدمة ، أو رفع هذه المعايير إذا كان ذلك ضروريا ومراقبة الأداء ، وخاصة في حالة استخدام أموال الدولة في إدارة شركات النقل وتشغيلها .

تأمين ضوابط السلامة Safety Controls. تقوم الوزارة أو الجهة المعنية بدراسة ضوابط السلامة الضرورية وتقويمها لحماية المسافرين والجمهور من الأضرار الجسمية والمادية التي قد تحدث نتيجة إهمال شركة النقل .

زيادة حجم الخدمة أو تخفيضه Entrance/Exit. يجب أن تحصل شركة النقل على ترخيص مسبق من الجهة الحكومية المختصة لتأمين خدمة معيّنة . والهدف من هذا الترخيص إعطاء الدولة فرصة تحديد الحاجة إلى الخدمة ، وتأثير الزيادة أو التخفيض في حجم الخدمة على الشركات العاملة في المجال نفسه ، وقدرة الشركة المتقدمة فنيا وماليا على تأمين الخدمة المطلوبة بالمستوى المطلوب .

وعندما يتم الترخيص لخدمة جديدة ، فلا يمكن للمرخص له إيقاف الخدمة إلا بموافقة الحكومة بناء على ثبوت انتفاء الحاجة لهذه الخدمة ، ووجود بدائل جيدة وممكنة للخدمة الحالية ، وتأثير إرغام المرخص له بالاستمرار في تقديم الخدمة على حالته الاقتصادية والمالية .

السجلات والحسابات Records and Accounts. للحصول على معلومات كافية ومفيدة لاتخاذ قرارات فعالة للمهام السابقة، تحدّد الوزارة أو المؤسسة المعنية الإجراءات المطلوبة لإعداد لوائح الدخل والمصاريف، وحفظ السجلات بوساطة الناقلين كل ضمن صلاحياته. وعادة ما يتم الاحتفاظ بالمعلومات المالية والإحصائية بجميع أنواعها بشكل تقارير تقدم للجهة الحكومية دورياً.

حماية البيئة Environmental Protection. تهتم الوزارة المعنية بوضع المعايير والضوابط الخاصة لحماية البيئة، ومنع إساءة استخدام الموارد المادية والطبيعية، وخاصة تلك التي تؤمنها الدولة.

الأبحاث والتطوير Research and Development. تهتم الوزارات المعنية بأعمال البحث العلمي والتطوير بهدف الحصول على أفضل الخدمات والمرافق الممكنة للأموال المعدة للاستثمار الحكومي. وقد يتطلب هذا الإجراء التعاون والتنسيق مع جهات حكومية أخرى أو جهات خاصة.

مسؤوليات أخرى Other Powers. وقد تعطى مسؤليات أخرى لوزارة النقل أو المؤسسات الأخرى التي قد تشمل إدارة الاعتمادات الحكومية الخاصة بالنقل ومتفرعاته وتوزيعها، وتطبيق برامج السلامة على مختلف وسائل النقل، والقيام بدراسات خاصة تتعلق باحتياجات معينة للنقل، وأمور كثيرة أخرى تتعلق بالأوجه المختلفة لصناعة النقل.

الهيئات الحكومية المسؤولة عن النقل
PUBLIC AGENCIES

كما ذكرنا سابقا، سنأخذ المملكة العربية السعودية مثالاً لشرح دور الدولة في إنشاء نظم النقل المختلفة ومراقبتها وتنظيمها وصيانتها وتشغيلها، ولذلك، فإن معظم مادة البحث في الفقرات التالية مستقاة من المراجع العامة والمعلنة في المملكة العربية السعودية.

بالنظر لتعدد أوجه أنشطة النقل وأهمية توفير الخدمة واستمراريتها بشكل جيد واقتصادي، أنشيء عدد من المؤسسات الحكومية تهتم بالنقل، وأوكلت إليها مسؤوليات معينة لتحديد أهدافها وتصريف أمورها. والجدول (١, ٣) يبيّن المسؤوليات الرئيسية لقطاع النقل في المملكة العربية السعودية.

ويلاحظ القارئ أن مسؤوليات قطاع النقل موزعة بين عدد من المؤسسات الحكومية والقطاع الخاص، إذ إن دور الدولة في قطاع النقل يتمثل في توفير التجهيزات الأساسية، وذلك بإنشاء المرافق وإتاحة استعمال جميع الأشخاص لها، وصيانة هذه المرافق وتشغيلها، وتحصيل رسوم استخدامها، ومراقبة حركة النقل وسلامتها، ومراقبة العاملين في صناعة النقل بالقطاع الخاص للتأكد من تقيدهم بالقوانين واللوائح المنظمة ودفع الرسوم التي تقرها الدولة. وفيما يلي نبذة سريعة للمؤسسات التي تعنى بالنقل على مختلف أنواعه.

الجدول (١,٣): المسئوليات الرئيسية لقطاع النقل في المملكة العربية السعودية

شبكة الطرق العامة		
١ - الإنشاء والصيانة	- طرق بين المدن	وزارة المواصلات - وكالة الوزارة لشئون الطرق
	- طرق وشوارع داخل المدن	وزارة الشئون البلدية والقروية
٢ - العمليات	- سيارات الأجرة	سائقو السيارات الذين يعملون لحسابهم الخاص
	- الحافلات	شركة النقل الجماعي، وحافلات خاصة
	- الشاحنات	مؤسسات وسائل الشحن الخاصة
٣ - الأنظمة واللوائح		وكالة وزارة المواصلات لشئون النقل
الطيران المدني		
١ - الإنشاء والصيانة	- المطارات المدنية	رئاسة الطيران المدني
		رئاسة المطارات الدولية
	- مرافق المراقبة الجوية	رئاسة الطيران المدني
٢ - العمليات		الخطوط السعودية، الخطوط الجوية الدولية
٣ - الأنظمة واللوائح	- رئاسة الطيران المدني، المنظمات الدولية	
شبكة السكك الحديدية		
المهام جميعها		مؤسسة الخطوط الحديدية السعودية
النقل البحري		
١ - الإنشاء والصيانة		
	- المساعدات الملاحية	سلاح البحرية السعودي
	- مرافق الموانئ الرئيسة	المؤسسة العامة للموانئ
٢ - العمليات		مشغلو وسائل النقل الخاصة
٣ - الأنظمة واللوائح		وكالة وزارة المواصلات لشئون النقل

المصدر: خطة التنمية الثالثة للمملكة العربية السعودية ١٤٠٠ - ١٤٠٥هـ (١٩٨٠ - ١٩٨٥م) الفصل السابع، ص ٣٢٠.

وزارة المواصلات Ministry of Communications. انطلاقا من المسؤولية التي أنيطت بوزارة المواصلات في مجال إنشاء الطرق وتشغيلها وصيانتها، وتنظيم النقل البري والبحري وتخطيطه والتنسيق بين وسائط النقل المختلفة، فقد أعدّت سياسة عامة للوزارة تهدف إلى تأمين أفضل خدمات النقل والمرافق الضرورية لدعم الاقتصاد الوطني، ونقل جمهور الركاب والبضائع في المملكة بوسائل موثوق بها وآمنة ومريحة وبأقصى ما يمكن من الكفاءة والفعالية وبتكلفة اقتصادية. وتتكون وزارة المواصلات من وكالتين هما: وكالة وزارة المواصلات لشؤون الطرق ووكالة وزارة المواصلات لشؤون النقل. وسنبحث أدناه مقومات كل من هاتين الوكالتين وأهدافهما وبرامجهما.

١ – وكالة وزارة المواصلات لشؤون الطرق (Highway Deputyship): تشمل مسؤوليات هذه الوكالة تخطيط جميع الطرق التي تربط بين مدن المملكة وتصميمها وإنشائها وصيانتها (ما عدا الشوارع داخل المدن) والتي تتكون من الطرق الرئيسية والطرق الثانوية والفرعية والطرق الزراعية.

ومنذ أن أنشيء أول طريق مرصوف عام ١٣٧١هـ، دأبت وزارة المواصلات على تنفيذ عديد من المشاريع الإنشائية التي أدت في مجملها إلى إنشاء شبكة من الطرق بلغ طولها حتى نهاية السنة الثالثة من خطة التنمية الخامسة (أي نهاية عام ١٩٩٣م/ ١٤١٣-١٤١٤هـ) ما يزيد على ١٢٢ ألف كيلومتر موزعة على النحو التالي: طرق سريعة ومزدوجة ٤٠٠ , ٤كم، طرق مفردة ووصلات ٢٥١ , ٣٧كم، طرق زراعية ممهدة ٩٦٥ , ٨٠كم. وتربط هذه الشبكة المدن الرئيسية والمناطق ببعضها، كما تؤمن الطرق الزراعية ربط ما يزيد على ٩٥٤ , ٦ قرية وهجرة في جميع أنحاء المملكة العربية السعودية (انظر الشكل ١ , ٣). ولا يزال العمل جاريا في توسيع شبكة الطرق وتحسينها بجميع أنواعها والرفع من مستوى أدائها لتحقيق أهداف الوزارة في توفير شبكة طرق عالية المستوى وجاهزة للاستخدام في جميع الأوقات وتحت أي الظروف، وذلك لتأمين سلامة التنقل على طرق المملكة والتغلب على العوائق الطبيعية والتوسع في شبكة الطرق لتخدم جميع المواطنين وفي جميع المناطق وذلك ضمن أهداف التنمية العامة.

٢ – وكالة وزارة المواصلات لشؤون النقل Transport Deputyship: أنشئت هذه الوكالة في عام ١٣٩٦هـ بهدف تنظيم قطاع النقل بكل وسائطه (ماعدا النقل الجوي) وذلك لدعم جهود التنمية الوطنية، وتوفير الخدمات الكافية للمواطنين والمستفيدين وبأقل الأسعار والعمل على استقرار معدلات أجور النقل ومنع الازدواجية والتنسيق مع الدول العربية والأجنبية في هذا المجال.

أما برامج الوكالة على الصعيد العملي فتشمل التالي:

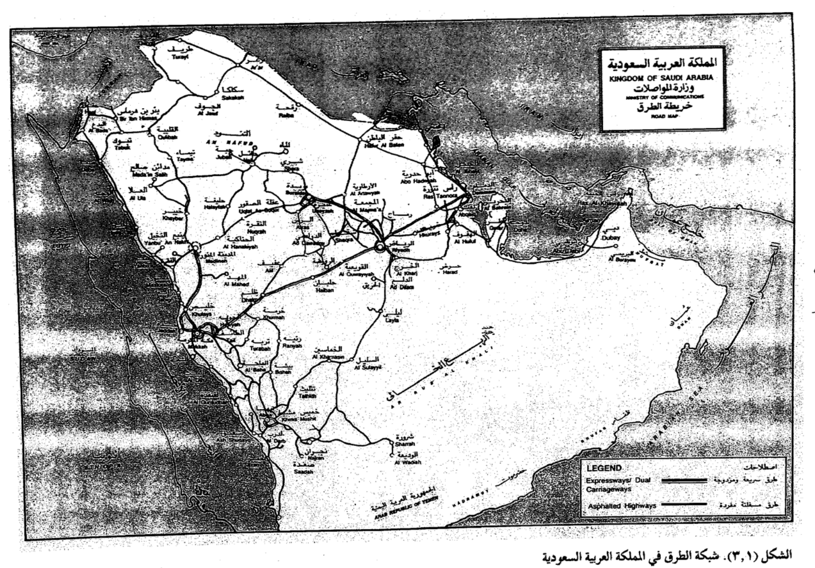
(أ) وضع اللوائح التنظيمية وتحديد تعرفة نقل الركاب والبضائع بحيث تضمن استمرار مساهمة القطاع الخاص في استثمارات النقل، مع حماية المستعمل من أجور نقل غير نظامية.

(ب) تحديد المعايير وإعداد اللوائح لضمان جودة خدمات النقل، ومراقبة أداء الشركات العاملة في هذا المجال.

(جـ) إقرار ضوابط السلامة لحماية المواطن من الأضرار التي قد تنجم عن إهمال الشركات العاملة في هذا المجال ودراسة احتياجات المواطنين للنقل، وتوفير ذلك من خلال مساهمة الدولة، أو من خلال مساهمة القطاع الخاص، أو بالمساهمة المشتركة.

(د) العمل على حماية البيئة الطبيعية من تأثير إنشاء مرافق النقل وتشغيلها واستعمال وسائل النقل المختلفة.

(هـ) تأمين خدمات نقل معقولة للمعتمدين على خدمات النقل العام أو ما شابهها داخل المدن وخارجها.



الشكل (٣,١). شبكة الطرق في المملكة العربية السعودية

المصدر: «الطرق والنقل: حقائق وأرقام»، وزارة المواصلات، المملكة العربية السعودية، الطبعة السادسة، ص٨٠, ١٤١٥هـ

(و) التشجيع والمساهمة في الأبحاث العلمية والتطوير في مجال النقل وجمع المعلومات والإحصائيات التي تساعد على تحسين الخدمة والأداء والتخطيط للمستقبل.
(ز) العمل على تحسين خدمات نقل الحجاج من المشاعر المقدسة وإليها والتحرك داخلها ضمن اللجان الرسمية القائمة والتنسيق مع الجهات المعنية الأخرى.
(ح) التنسيق والتعاون بين المملكة العربية السعودية والعالم الخارجي، وخاصة الدول العربية والإسلامية للقيام بدور فعال ومؤثر في مجال النقل.

وزارة الشؤون البلدية والقروية Ministry of Municipalities and Rural Affairs. تسهم هذه الوزارة في مجال النقل انطلاقا من مسؤوليتها عن إنشاء الطرق وصيانتها وتشغيلها داخل المدن والقرى. ويتم تنفيذ هذه المسؤولية من خلال أعمال البلديات المختلفة التابعة إداريا للوزارة. وتهتم الوزارة في تخطيط المدن والقرى بالتعاون مع الوزارات الأخرى، وخاصة وزارة المواصلات ووزارة التخطيط.

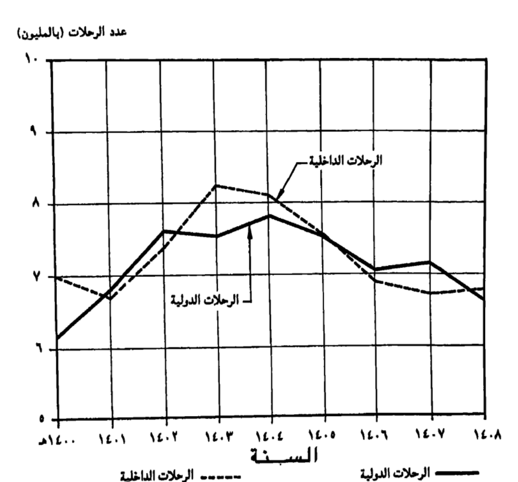
رئاسة الطيران المدني Presidency of Civil Aviation. تعد رئاسة الطيران المدني الجهة المسؤولة عن تشغيل المطارات بالمملكة العربية السعودية (كانت تعرف سابقا باسم مصلحة الطيران المدني)؛ وتتبع هذه الرئاسة وزارة الدفاع والطيران. ويدخل ضمن صلاحياتها إدارة المجال الجوي السعودي، وتوفير خدمات الإنقاذ ومكافحة الحرائق وصيانة المطارات المحلية والدولية.

وقد اهتمت المملكة العربية السعودية مبكرا بارساء أسس شبكة الطيران المدني التي توسعت توسعاً سريعاً وهائلاً خاصة في أواخر خطة التنمية الأولى (١٣٩٠ – ١٣٩٥هـ). ويرجع ذلك إلى الطلب الكبير على خدمات النقل الجوي، إذ إنه الوسيلة الرئيسية لنقل الركاب عبر مسافات بعيدة كما هو الحال في المملكة. أما الأهداف والسياسات العامة فتشمل:

١ – زيادة عدد المنشآت والمعدات، وتحسين نوعية التجهيزات لمواجهة الزيادة في حركة النقل الجوي.
٢ – المحافظة على المستويات الدولية لسلامة الطيران وأمن المطارات ومكافحة الحرائق.
٣ – توفير الخدمات وصيانة مرافق المطارات الحالية والمخطط لها وتجهيزاتها كافة.
٤ – زيادة التأكيد على تدريب السعوديين واستخدامهم.
٥ – تحسين إنجاز معاملات الركاب.

ويبين الشكل (٢, ٣) إجمالي عدد المسافرين على الرحلات الجوية الداخلية والدولية.

رئاسة المطارات الدولية International Airports. تعد رئاسة المطارات الدولية الجهة المسؤولة عن تخطيط المطارات الدولية التي تربط المملكة جويا مع العالم الخارجي وإنشائها. وقد أنشيء مطارا الملك عبدالعزيز بجدة والملك خالد بالرياض الدوليين تحت إدارة رئاسة المطارات الدولية وإشرافها. ويجري حاليا إنشاء مطار الملك فهد بالمنطقة الشرقية لتوفير الاتصال الدولي للمنطقة.

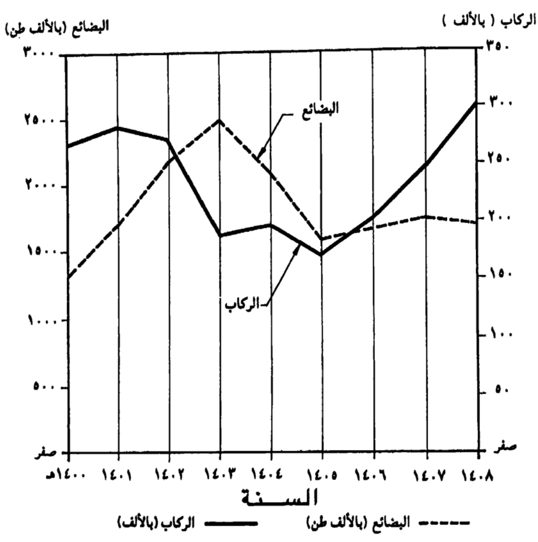


الشكل (٣,٢). إجمالي أعداد المسافرين على الرحلات الجوية الداخلية والدولية في المملكة العربية السعودية.

المصدر: خطة التنمية الخامسة ١٤١٠هـ-١٤١٥هـ (١٩٩٠-١٩٩٥م)، المملكة العربية السعودية – وزارة التخطيط ص: ٣٩٧.

مؤسسة الخطوط الحديدية السعودية Saudi Railway Organization. تتكون شبكة الخطوط الحديدية السعودية من خط يربط ميناء الدمام بمدينة الرياض والبالغ طوله ٥٦٢ كم وفروعه. وهذا الخط تحت إدارة المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السعودية.

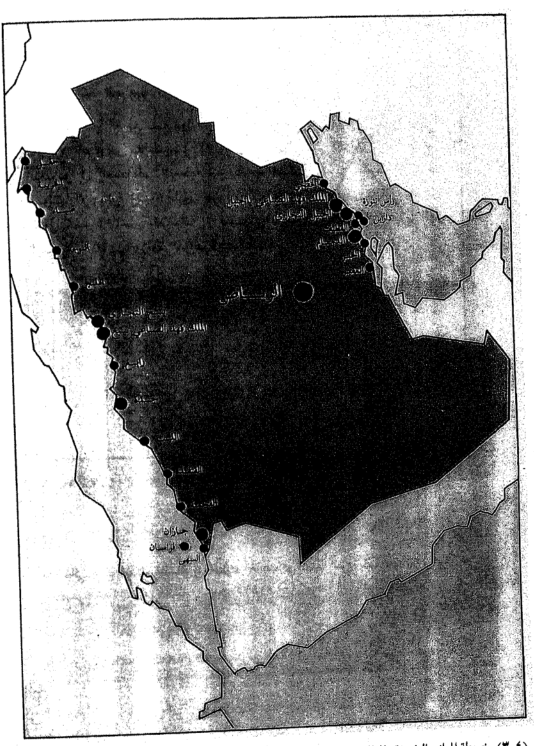
ويعود إنشاء هذا الخط إلى عام ١٣٧١هـ، والهدف منه نقل كميات كبيرة من البضائع بين الدمام والرياض. ومع نمو أعداد الشاحنات وإنشاء الطرق ذات المستوى العالمي بين المدينتين، تحولت الحركة إلى الشاحنات ابتداء من عام ١٣٨٢هـ. وبسبب استمرار نمو الحركة بين الدمام والرياض، فإن النقل بالسكك الحديدية امتص كثيرا من هذه الزيادة، والهدف الآن هو زيادة كفاءة هذا الخط وتشغيله لاستيعاب قدر كبير من الزيادة المتوقعة في الحركة في المستقبل. انظر الشكل (٣,٣).



الشكل (٣،٣). إجمالي حركة البضائع والمسافرين بالخطوط الحديدية في المملكة العربية السعودية.

المصدر: خطة التنمية الخامسة ١٤١٠هـ-١٤١٥هـ (١٩٩٠-١٩٩٥م)، المملكة العربية السعودية - وزارة التخطيط ص: ٣٩٥.

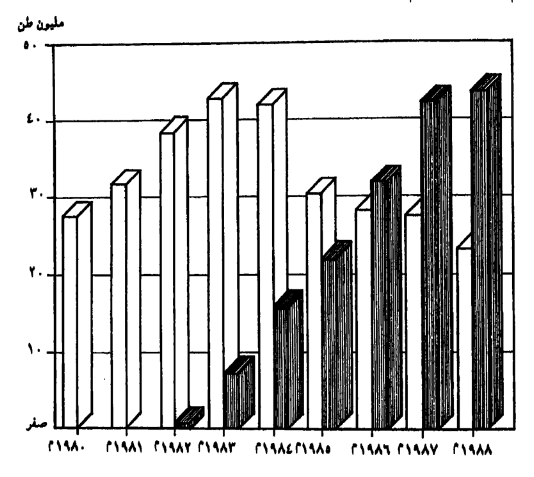
المؤسسة العامة للموانئ Saudi Ports Authority. تتولى هذه المؤسسة إدارة الموانئ السعودية الرئيسية التي تقع في جدة والدمام والجبيل وينبع وجيزان وتشغيلها، وكذلك تشغيل أربعة موانئ صغيرة على الخليج العربي وعشرة موانئ على البحر الأحمر. وتؤدي الموانئ دورا مهما في توفير الخامات والسلع الضرورية لقطاعات الإنتاج وللاستهلاك المحلي، إذ برهنت الإحصاءات أن النقل البحري يوفر طاقة هائلة للشحن والاستلام من دول العالم وإليها وبتكلفة منخفضة مقارنة بوسائل النقل الأخرى. وهناك عدد من الموانئ الأخرى التي تقع تحت إدارة القوات البحرية وإشرافها. ويوضح الشكل (٤، ٣) مواقع الموانئ في المملكة العربية السعودية.



الشكل (٣،٤). خريطة الموانئ الرئيسية والمرافئ التجارية في المملكة العربية السعودية.

المصدر: النقل البحري في سطور، وزارة المواصلات، المملكة العربية السعودية، ١٩٩٠م.

ويعود تاريخ الموانىء في المملكة العربية السعودية إلى قرون مضت إذ إن مينائي جدة وينبع كانا نقطتي دخول الجزيرة العربية لأداء فريضة الحج. ولكن التجهيزات البارزة لم تأت إلا في الخمسينات من القرن العشرين حيث أنشئت فرضة للزيت في رأس تنورة على الخليج العربي. وفي أواخر الستينيات تم إنشـاء مرافـق حديثة لنقل البضائع في كل من الدمام وجدة. أما التوسع الأكبر في طاقات الموانىء السعودية، وخاصة في مينائي جدة والدمام، فقد حدث في العشرين سنة الأخيرة، وذلك استجابة لنمو الطلب على المواد الأولية والبضائع الجاهزة بسبب خطط التنمية. ويبيّن الشكل (٥ , ٣) حجم البضائع التي تمت مناولتها عبر الموانىء السعودية التجارية والصناعية حتى عام ١٤٠٨هـ (١٩٨٨م).



الشكل (٣,٥). حجم البضائع المناولة عبر الموانئ التجارية والصناعية في المملكة العربية السعودية.

المصدر: خطة التنمية الخامسة ١٤١٠هـ-١٤١٥هـ (١٩٩٠-١٩٩٥م)، المملكة العربية السعودية - وزارة التخطيط ص: ٣٩٩.

وتحمل قصة تطوير الموانئ السعودية، وزيادة طاقتها الاستيعابية استجابة للطلب عليها بين الفترة ١٣٩٥- ١٤٠٥هـ، مثالا ناجحا لاستعمال الأساليب والمعدات الحديثة في إدارة الموانئ وتشغيلها. فعندما بدأ تنفيذ خطة التنمية الثانية في عام ١٣٩٥هـ، كانت الواردات قد ازدادت بنسبة ١٣٨٪ عن العام السابق، ثم تلا ذلك ازدياد بنسبة ٧٥٪ في عام ١٣٩٦هـ. وقد أدى هذا الازدياد إلى الاختناق في حركة السفن والبضائع مما أدى إلى معدل تأخير في تفريغ البضائع مدة ٤٠ يوما. ولكن هذه الحالة لم تستمر إذ إن الإجراءات التنظيمية والكفاءة المتزايدة للعمال والمعدات، والتوسع في المرافق والتجهيزات، أدى إلى ضبط الاختناق وإزالته في السنين التي تلت ذلك. ويبيّن الجدول (٢, ٣) الزيادة في طاقات الموانى السعودية خلال الفترة ١٣٩٥-١٤٠٥هـ.

الجدول (٣,٢): الزيادة في طاقات الموانئ السعودية خلال الفترة ١٣٩٥ - ١٤٠٥هـ.

الميناء	عدد الأرصفة			الحمولة المفرغة	الطاقة	
	١٣٩٠	١٣٩٥	١٣٩٧	١٣٩٩	١٤٠٠	١٤٠٥هـ
ينبع	٢	٩	٩	١,٠	٢,٧	٢,٧
جدة	١٢	٤٥	٥٠	١٢,٤	١٣,٩	١٥,٥
جيزان	١	٤	١٤	١,١	١,٦	٥,٦
الدمام	٩	٤٠	٤٠	٩,٠	١٢,٧	١٢,٧
الجبيل	•	١٦	١٦	١,١	٥,٥	٥,٥
القضيمة	•	٨	٨	-	٢,٤	٢,٤
رأس الغار	٩	٨	٨	-	٢,٤	٢,٤
المجموع	٢٤	١٣٠	١٤٥	٢٤,٦	٤١,٢	٤٦,٩

ملاحظة: تقاس الطاقة والحمولة المفرغة بملايين الأطنان الساكنة، ويعادل الطن الساكن ١,٠١٦ طن متري. وتعتمد توقعات تحديد طاقة الموانئ على أساس ٧٠٪ من معدل تشغيل الأرصفة.

المصدر: خطة التنمية الثالثة للمملكة العربية السعودية ١٤٠٠ - ١٤٠٥هـ (١٩٨٠ - ١٩٨٥م)، الفصل السابع، ص ٣٣٥.

ناقلات السلع والركاب — المعدات والحركة
FREIGHT CARRIERS—PLANT AND TRAFFIC

كما ذكرنا في مقدمة هذا الفصل، فإن الفقرات التالية ستبحث موضوع حجم شبكة النقل للتجهيزات والمعدات والحركة على مستوى البلاد العربية كمجموعة. وسنتناول بالترتيب موضوع نقل السلع ثم الركاب لكل من نظم النقل المختلفة. ويجب التنويه إلى أن الأرقام الواردة في هذا القسم تهدف إلى إعطاء فكرة عامة لحجم الحركة والتجهيزات والمعدات التي تتزايد مع زيادة الطلب عليها.

السكك الحديدية Railroads . لقد أظهرت الإحصائيات أن نقل السلع بوساطة السكك الحديدية هي أكثر وسائط النقل اقتصادا في المسافات البعيدة . ويعود ذلك إلى أن مرافق السكك الحديدية ، رغم تكلفتها الإنشائية العالية ، إلا أنها تدوم مدة طويلة وقادرة على نقل السلع والبضائع على اختلاف أنواعها . وتساعد القدرة على زيادة حجم القطار ، من دون زيادة كبيرة في أعداد العاملين ، على تحسين اقتصاديات النقل بوساطة السكك الحديدية .

ورغم أن الشرق الأوسط يحتل موقعا جغرافيا ممتازا ، ويمثل حلقة وصل رئيسية للنقل والمواصلات بين الشرق والغرب ، إلا أن إنشاء شبكات سكة الحديد وتطويرها قبل استقلال دول المنطقة قد اقتصر على شبكات محدودة ومستقلة عن بعضها ، كل منها يخدم أغراضا معينة . كما أدى ذلك إلى اختلاف في المقاييس والمواصفات بين دولة وأخرى ، وإلى انخفاض المستوى من نواحي السعة والوزن المحوري والسرعة القانونية . ويعود سبب هذه السلبيات إلى أن معظم دول المنطقة كانت خاضعة لسلطة أجنبية أنشأت هذه المرافق لمنفعتها الخاصة في الدرجة الأولى .

وقد تميزت جهود الدول العربية بعد الاستقلال على صيانة الخطوط القائمة ورفع كفاءتها وعلى زيادة حجمها عند توافر الأموال اللازمة . أما في العقدين الأخيرين ، فقد بدأ التفكير في توسيع الشبكة القائمة وإضافة خطوط جديدة . بدأ هذا التفكير يأخذ طابعا جديا ضمن الخطط العامة للتنمية وتوفير التجهيزات الأساسية التي تشمل قطاع النقل . وأحد أهداف التخطيط للسكك الحديدية الجديدة ، هو خدمة الاقتصاد الوطني وربط عديد من الدول العربية ببعضها عن طريق تأمين شبكة سكة حديدية متكاملة لنقل السلع والأفراد . وأهم هذه المشاريع هو إعادة إنشاء سكة حديد الحجاز التي ستربط سوريا بالأردن والسعودية ، وكذلك مشروع ربط سوريا بالعراق عن طريق خط دير الزور القائم . وهناك مشاريع أخرى تحت الدراسة لربط السودان وليبيا بمصر وكذلك ليبيا بتونس .

ولإعطاء القارئ فكرة عامة عن الأطوال الحالية لخطوط سكة الحديد في مخلتف الدول العربية ، نورد الجدول (٣,٣) . وتستعمل هذه الخطوط في الغالب في نقل السلع والبضائع والمواد الخام من المناجم ، كما هو الحال في دول المغرب العربي . ويجب القول إن طول الشبكة في الأقطار العربية كلها لا يزيد على ٢٤٠٠٠ كم ، بينما تقدر أطوال سكة الحديد في إنجلترا وحدها بـ ٤٥٠٠٠ كم وفي فرنسا بنحو ٥٠٠٠٠ كم وفي ألمانيا الاتحادية بنحو ٦٦٠٠٠ كم . ولهذا ، فإن الحاجة ماسة إلى تخطيط مزيد من خطوط سكة الحديد وإنشائها لتسهيل نقل السلع ليس ، فقط ، داخل البلد الواحد بل بين البلاد العربية كلها .

أما المعدات العاملة على خطوط سكة الحديد فتتكون من المعدات الساحبة أو القاطرات والمعدات المجرورة . وتتكون المعدات الساحبة من ١٦٩٠ قاطرة سفرية (Mainline Locomotive) و ٣٣٤ قاطرة مناورة (Shunting locomotive) و ٢٥٧ قاطرة عربات ركاب (Passenger Rail Cars) . ولا تزال القاطرات البخارية مستعملة في كل من لبنان وسورية والأردن والعراق والسودان ، إلا أن هناك اتجاهاً لاستبدال هذه بقاطرات ديزل . وتبلغ القدرة الإجمالية للقاطرات السفرية نحو ٢٢٦٠ ألف كيلواط ، وللقاطرات المناورة نحو ١٥٠ ألف كيلواط ، ولقاطرات عربات الركاب نحو ١٣٠ ألف كيلو واط .

الجدول (٣,٣): أطوال شبكات الخطوط العاملة حاليا في الأقطار العربية.

الشبكة	إجمالي أطوال الخطوط اتساع ١٤٣٥م (بالكيلومتر)	إجمالي أطوال الخطوط اتساع ١٠٥٠/١٠٠٠ملم (بالكيلومتر)	أطوال الخطوط المزدوجة (بالكيلومتر)
السكك الأردنية	-	٥٣٠	-
السكك التونسية	٦٠٩	١٦٤٨	١٨
السكك الجزائرية	٣٤٥٠	١٤٤٠	١٦٨
السكك السورية	١٥٠٠	١٩٠(أ)	-
السكك السودانية	-	٥٠٠٠	-
السكك السعودية	٥٦٠	-	-
السكك العراقية	١١٣٠	٤٣٠	-
السكك المغربية	٢٣٨٠	-	١٦٠
السكك المصرية	٣٩٠٠	-	٩٥٠
السكك اللبنانية	٢٨٠	٩٠	-

(أ) خطوط غير عاملة في الوقت الحاضر للجزء المؤدي إلى لبنان.

المصدر: «المواصلات في الوطن العربي» الفصل التاسع، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت أغسطس ١٩٨٢م، ص١٨٨.

أما المعدات المجرورة فتتكون من عربات الركاب وعربات البضائع. وهذه بدورها تتكون من ٤١٠٠ عربة ركاب تبلغ سعتها الإجمالية نحو ٢٥٥ ألف مقعد، نحو ٧٠ ألف عربة لنقل البضائع تبلغ سعتها الإجمالية نحو ٢١ مليون طن.

وبسبب عدم شمولية شبكة سكة الحديد واتساعها على المستوى الوطني والقومي، فقد اتجهت حركة نقل البضائع نحو الشاحنات والطرق المرصوفة أكثر منها نحو السكك الحديدية. ومما شجع على ذلك مرونة النقل البري بالشاحنات التي توفر خدمة من باب منشأ السلع إلى باب تسويقها. ومع هذا كله، فقد استطاعت سكة الحديد استقطاب أنواع معينة من البضائع التي تتصف بثقل وزنها مقارنةً بثمنها وطول مسافة نقلها. ويبيّن الجدول (٤, ٣) حركة نقل البضائع بالسكك الحديدية العربية ونسب نموها بين السنوات ١٩٧٠ - ١٩٨٠م. وتشكل الخامات المعدنية النسبة الكبرى من البضائع المنقولة حيث تتراوح بين نحو ١٠٠٪ في موريتانيا (الحديد) والأردن (الفوسفات) و ٦٠٪ في الجزائر (خامات الحديد والفوسفات). أما مسافة نقل المواد فتعتمد على مساحات البلدان المختلفة والمسافة بين مصادر السلع ومواطن الاستهلاك أو مراكز التصدير. فمثلا، نرى متوسط مسافة نقل الطن الواحد في لبنان قد بلغ ٧٥كم، بينما بلغت هذه المسافة ٩٢٤كم في السودان، وهذا، طبعا، يعكس مساحة لبنان الصغيرة مقارنةً بمساحة السودان الكبيرة.

الجدول (٣,٤): حركة نقل البضائع بالسكك الحديدية العربية ونسب نموها.

	القطر	السنة	آلاف الأطنان الصافية	ملايين الأطنان الكيلومترية	متوسط مسافة نقل الطن (الكلم)	نسبة النمو السنوية (٪)			
						الفترة الزمنية	الأطنان	الأطنان الكيلومترية	متوسط مسافة نقل الطن
شمال أفريقيا	تونس	١٩٧٩م	٧٦٢٥	١٤٧٩	١٩٤	١٩٧٠-١٩٧٩م	٠,٨	١,٢	٠,٤
	الجزائر	١٩٧٩م	٩٢٥٧	٢٥٠٨	٢٧١	١٩٧٠-١٩٧٩م	٤,٥	٦,٦	٢,٠
	المغرب	١٩٧٩م	٣٦٦١٨	٣٨٥٣	١٤٥	١٩٧٠-١٩٧٩م	٤,٢	٤,٣	
	موريتانيا	١٩٧٩م	٩٠٠٠	٥٨٥٠	٦٥٠	١٩٧٤-١٩٧٩م	(٤,٠)	(٤,٠)	
	المجموع (المعدل)		٥٢٥٠٠	١٣٦٩٠	٢٦١				
وادي النيل	السودان	١٩٧٩/ ١٩٨٠م	٢٠٦٤	١٩٠٨	٩٢٤	١٩٧٠/ ١٩٧١- ١٩٧٩/ ١٩٨٠م	(٤,٦)	(٤,١)	٠,٦
	مصر	١٩٧٧م	٨٥٣٩	٥٠٣٥[أ]	٥٩٠	١٩٧١-١٩٧٧م	(٣,٣)	٧,٩	١١,٦
	المجموع (المعدل)		١٠٦٠٣	٦٩٤٣	٦٥٥				
آسيا العربية	الأردن		-	-	-		-	-	-
	سوريا	١٩٧٩م	١٩٠٩	٤٤٩	٢٣٥	١٩٧٦-١٩٧٩م	١٢,٤	١٣,٣	٠,٧
	العراق	١٩٧٦م	٤٦٨١	٢١٦٨	٤٦٣	١٩٧٠-١٩٧٦م	-	٩,٥	-
	لبنان	١٩٧٤م	٥٥٨	٤٢	٧٥	١٩٦٨-١٩٧٤م	-	٢,١	-
	السعودية	١٩٧٩/ ١٩٨٠م	١٤٥٣	٥١٥	٣٥٥	١٩٦٩/ ١٩٧٠- ١٩٧٩/ ١٩٨٠م	٤,٨	٢٢,٥	١٦,٨
	المجموع (المعدل)		٨٦٠١	٣١٧٤	٣٦٩				
المجموع الإجمالي (المعدل)			٧٢٧٠٠ (مقدرة)	٢٤١٢٤ (مقدرة)	٣٣٢				

المصدر: «المواصلات في الوطن العربي» الفصل الخامس، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، آب/ أغسطس ١٩٨٢م، ص: ١١٢.

(أ) هناك شك كبير في دقة المعلومات المتوافرة عن كيلومترات الأطنان في عام ١٩٧٧م في مصر. ويعتقد أن الأرقام الحقيقية لهذا العام أقل بكثير من الأرقام المعطاة.

ملاحظة عامة: تشير العلامة «-» إلى أن البيانات غير متوافرة.

وللأسباب التي ذكرناها آنفا، فإن نصيب السكك الحديدية في نقل الركاب داخل البلد الواحد، أو عبر البلاد الأخرى، هو نصيب ضئيل جدا مقارنة بنصيب وسائل النقل الأخرى المتوافرة كالسيارات والحافلات، وهذا يعكس الفرص المتوافرة لدى المواطن لاستعمال وسيلة نقل ما لإتمام رحلته. وقد أدى ازدياد حجم شبكات الطرق وكثافتها في الدول العربية، وخاصة في السبعينيات والثمانينيات، إلى ازدياد سريع في اقتناء السيارات الخاصة، والاعتماد على الحافلات في التنقل الحضري والتنقل بين المدن. ويلخص الجدول (٥, ٣) توزيع الركاب على السكك الحديدية العربية، والمسافة بالكيلومترات التي قطعها الركاب.

الجدول (٣,٥): حركة نقل الركاب بالسكك الحديدية العربية ونسب نموها.

	القطر	السنة	عدد الركاب بالسنة (بالآلاف)	كيلومترات الركاب بالسنة (بالملايين)	متوسط مسافة نقل الراكب (كلم)	نسبة الزيادة السنوية (٪): الفترة الزمنية	الركاب	كيلومترات الراكب	متوسط مسافة نقل الراكب (كلم)
شمال أفريقيا	تونس	١٩٧٩م	٢٥٤٨٧	٧٣٧	٢٩	١٩٧٠-١٩٧٩م	٦,٣	٥,٨	(٠,٥)
	الجزائر	١٩٧٩م	٢٤٩١١	١٧٧٩	٧١	١٩٧٠-١٩٧٩م	١٣,٨	٦,٥	(٦,٤)
	المغرب	١٩٧٩م	٤٦٠٦	٨٠٤	١٧٤	١٩٧٠-١٩٧٩م	٤,٩	٤,٢	٢,٤
	موريتانيا	١٩٧٩م	_(أ)						
	المجموع (المعدل)		٥٥٠٠٤	٣٣٢٠	٦٠				
وادي النيل	السودان	١٩٧٩/١٩٨٠م	٢٢٥٧١	١٠٢٨	٣٩٩	١٩٧٠/١٩٧١-١٩٧٩/١٩٨٠م	(٣,١)	(٠,١)	٣,١
	مصر	١٩٧٧م	٢٢٦٠٥٤	٥١٩٦	٢٣	١٩٧١-١٩٧٧م		(٤,٣)	(٤,٧)
	المجموع (المعدل)		٢٢٨٦٢٥	٦٢٢٣	٢٧				
آسيا العربية	الأردن(ب)		–	–	–		–	–	–
	سوريا	١٩٧٩م	١٣٢٠	٣٩٢	٢٩٧	١٩٧٦-١٩٧٩م	١٩,٦	٣٧,٧	١٥,٢
	العراق	١٩٧٦م	٩٨٣٥	٣٢٨٥	٣٣٤	١٩٧٠-١٩٧٦م	–	٦,٨	–
	لبنان	١٩٧٤م	٢٦٦	٢	٧٢	١٩٦٨-١٩٧٤م	–	(١٨,٨)	–
	السعودية	١٩٧٩/١٩٨٠م	٢٧٥	٨٩	٣٢٣	١٩٦٩/١٩٧٠-١٩٧٩/١٩٨٠م	٨,٥	٧,٩	(٠,٥)
	المجموع (المعدل)		١١٦٩٦	٣٨٤٠	٣٢٨				
المجموع الإجمالي (المعدل)			٢٩٥٣٢٥	١٣٣٨٣	٤٥				

المصدر: «المواصلات في الوطن العربي» الفصل الخامس، الجدول رقم (٦) ص ١١ . مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ١٩٨٢م.

(أ) الغيت خدمة الركاب منذ عام ١٩٧٨م.

(ب) رغم عدم توافر المعلومات إلا أنه يعتقد أن حجم نقل الركاب على السكك الحديدية في الأردن ضئيل جدا.

ملاحظة عامة: تشير العلامة «-» إلى أن البيانات غير متوافرة.

ويلاحظ القارئ أن المجموع العام لعدد الركاب بلغ أكثر من ٢٩٥ مليون راكب في السنة، وأن متوسط طول رحلة المسافر بالسكة الحديدية يتراوح بين ٢٣كم في مصر و٣٩٩كم في السودان.

ويمكن تصنيف ناقلات ركاب السكك الحديدية إلى ما يلي:

(أ) **النقل العام السريع Rapid Transit**. وهذا نقل عام بمعناه العملي. ومن خصائصه المميزة أنه يعمل على ممر خاص به، قد يكون فوق الأرض، أو تحتها، أو داخل أنفاق خاصة، ويوفر خدمة متكررة خاصة خلال ساعات الازدحام، ويتوقف باستمرار وخاصة داخل مناطق وسط المدينة. وتتراوح سرعة القطار بين ٣٠ و ٤٥ ميلاً في الساعة (٤٨ إلى ٧٣ كم في الساعة). وعادة ما يتم تحصيل أجرة واحدة وثابتة للرحلة وفي بعض الأحيان تعتمد الأجرة على طول الرحلة.

(ب) **القطار الخفيف Light Rail**. يطلق هذا النوع من النقل على القطارات داخل المدن. ولا يزال هذا النوع من النقل شائعاً في الدول الأوروبية. ويتميز هذا النظام بسرعة بطيئة وباستعماله شوارع المدينة مشاركة مع نظم النقل الأخرى. أما القطارات الحديثة لهذا النظام فتتميز بتحركها الهادئ والسريع وخفة وزن القطار الذي يتكون، عادة، من قاطرة ساحبة واثنتين إلى أربعة عربات مقطورة، وتسير على ممر خاص بها، وذات سعة كبيرة.

(جـ) **قطارات الركاب بين المدن Commuter Railroads**. تستعمل هذه القطارات السكك الحديدية، وتخدم المسافرين بين المدن الواقعة على السكة أو بالقرب منها. وعادة ما تعتمد أجرة الرحلة على طولها. أما السرعة، فعادة ما تكون عالية، مع سعة كبيرة للقطار، ومواعيد محددة للرحلات. وتعتمد هذه العمليات على الدعم المالي الحكومي، إذ إن الطلب عليها ليس كافيا لتغطية تكلفة شراء المعدات وتشغيلها.

الطرق المعبدة Highways. يعد النقل عبر الطرق أكثر الوسائل استعمالا في البلاد العربية، إذ إن توافر النفط ومشتقاته، بالإضافة إلى مرونة النقل وسهولته بالسيارات والشاحنات والحافلات أدى إلى الانتشار الواسع والسريع لهذه الوسائل وخاصة في العقدين الماضيين. وقد قامت الدول العربية، وخاصة النفطية منها، ببرامج ضخمة لإنشاء الطرق لربط المدن الرئيسية ببعضها وكذلك المدن الصغيرة والقرى، وخاصة تلك الواقعة بالقرب من الطرق والممرات الرئيسية.

ورغم أن تخطيط الطرق وتصميمها وإنشائها في الدول العربية يتم استجابة لمتطلبات التنمية فيها، إلا أن التبادل التجاري والاجتماعي بين هذه الدول أبرز أهمية التنسيق وفوائدها بين خطط النقل، وخاصة بين الدول المتجاورة. وتأكيدا لأهمية هذا التنسيق، فقد أقر مؤتمر القمة العربية الذي عقد في نوفمبر عام ١٩٨٠م في عمان استراتيجية للتنمية العربية الشاملة. وأحد مقومات هذه التنمية المشتركة هو وجود شبكة نقل متكاملة وشاملة تربط الدول العربية ببعضها. وقد أوكلت الأمانة العامة لجامعة الدول العربية مهمة وضع خطة متكاملة لشبكة طرق عربية مشتركة. وبالطبع، فإن دراسة كهذه تأخذ بعين الاعتبار الطرق الحالية، والتي تحت الإنشاء، وكذلك التي في طور التصميم أو التخطيط. وقد قام الصندوق العربي للإنماء الاقتصادي والاجتماعي بدراسة لتحديد إطار عام لشبكة طرق عربية مشتركة.

ويبين الشكل (٦ ,٣) خريطة الطرق العربية المشتركة التي هي طرق رئيسية وثانوية تربط بين بلد عربي وآخر، أو بين بلد عربي والعالم الخارجي. وتشكل الطرق الرئيسية نحو ٣٧,٨٠٠كم من أصل ٨١,٠٠٠كم، أي ٤٦ بالمائة والطرق الثانوية تمثل الباقي (٥٤٪). وتقترح الشبكة إنشاء ٥ أنفاق تحت الماء عبر البحر الأحمر لوصل المشرق العربي والجزيرة العربية بالدول العربية الإفريقية. والخريطة أعلاه لا تبين بعض الطرق الرئيسية والثانوية التي تستعمل فقط لنقل السلع والمسافرين داخل البلد الواحد، وخاصة الطرق التي تربط المزارع بالمدن المجاورة أو الطرق الترابية. وعلى أي حال، فمن الواضح أن شبكة الطرق المرصوفة في أية دولة عربية تفوق بطولها وباستعمالها أي نوع آخر من مسارات الطرق سواء كانت طرقا بحرية أو سككا حديدية. ويعود ذلك إلى أن المعدات والمركبات التي تستعمل في التنقل فوق الطرق المرصوفة تفوق بكميتها أي عدد من المعدات المستعملة في التنقل بوساطه نظام نقل آخر.

أما الشاحنات المستعملة في نقل السلع عبر الطرق المرصوفة فيمكن تصنيفها فيما يلي:

(أ) **الناقلات الخاصة Private Carriers**. وهذه شاحنات تستعمل لنقل بضائع مملوكة لصاحب الشاحنة. والملكية الخاصة للشاحنة هنا توفر مرونة ودقة في نقل البضائع بدون تأخير، وبدون الحاجة إلى توضيب كثيف كما هي الحال في النقل التجاري.

(ب) **الناقلات العامة Public Carriers**. وهذه شاحنات تجارية تخدم الجمهور عبر خطوط ثابتة، أو خطوط غير ثابتة حسب الطلب. وتخضع هذه الناقلات عادة إلى سلطة حكومية تقوم بترخيص أعمالها ووضع معايير خاصة لأعمالها التجارية لخدمة المستهلك.

(جـ) **الناقلات المتعاقدة Contract Carriers**. تعمل هذه الناقلات على أساس التعاقد لنقل البضائع بوساطة الشاحنات. وعادة ما تخضع هذه لقوانين الدولة المتعلقة بتسعير الأجرة وساعات العمل وإجراءات السلامة، وذلك لحماية المستهلك والمواطن. ومثالُ عمليات هذا النوع من النقل هو التعاقد مع مستورد لشحن السلع الواردة من رصيف الميناء إلى مركز التخزين ثم توزيعها إلى المحلات التجارية حسب الطلب. وقد تتخصص بعض شركات الشحن في نقل نوع معين من السلع كالأغذية المجمدة أو المحروقات. وفي هذه الحالة يجهز الأسطول بمعدات خاصة لضمان نجاح العملية.

(د) **تصنيفات أخرى Other Classifications**. يمكن تصنيف الشاحنات على أساس آخر وذلك بالنسبة لمحيط خدماتها ومداها. فهناك الشحن المحلي والشحن بين المدن، فالشحن المحلي يشمل الشاحنات التي تعمل في نقل البضائع داخل المدن. وكذلك الأمر بالنسبة للشحن بين المدن إذ تعتمد هذه الشاحنات على نقل السلع بين المدن. ويمكن، أيضا، تصنيف الشاحنات على أساس خطوط تحركها، وهذه تشمل خدمة منتظمة بين نقطتين

الوضع الحالي
لشبكة الطرق العربية المشتركة

مصطلحات:
طريق جيد / قيد الانشاء
طريق متوسط / ردئ
طريق غير مصنفت / غير موجود
طريق غير معروف

الشكل (٣،٦). الوضع الحالي لشبكة الطرق العربية المشتركة.

المصدر: «المواصلات في الوطن العربي» الفصل السادس، مركز دراسات الوحدة العربية: بيروت، آب–أغسطس ١٩٨٢م.

وعلى خط معين، أو خدمة غير منتظمة بين نقطتين لكن على خط معين، أو خدمة غير منتظمة بالنسبة للزمن والخط والطريق. وكذلك يمكن تقسيم هذا التصنيف الأخير إلى نوع السلع التي يمكن نقلها، فمثلا، يمكن تصنيف الشاحنات وترخيصها لنقل البضائع العامة أو السلع المنزلية أو المعدات الثقيلة أو مشتقات النفط السائلة أو السوائل المجمدة أو المنتوجات الزراعية أو نقل السيارات أو المحركات أو الشاحنات المدرعة أو نقل مواد البناء، أو الفواكه الطازجة، أو نقل خامات المعادن، أو نقل المواد الخطرة أو التي لها قابلية الانفجار أو غيرها.

وهكذا يمكن ترخيص عملية الشاحنات على أساس نوع الحمولة وطريق عملياتها وبرنامجها، وبهذا يسهل ضبط هذه العمليات ومراقبتها لحماية المستهلك والمواطن على حد سواء.

أما نقلُ الركاب فوق الطرق المرصوفة فإن المركبة الأساسية بهذا الخصوص هي السيارة، إذ إن السيارة أصبحت، وخاصة في العقدين الماضيين، الوسيلة الأساسية للتنقل داخل المدن وبينها، خصوصا إذا كانت المسافة لا تزيد على ٤٠٠ إلى ٥٠٠كم. وسبب هذا الاعتماد الكبير على السيارة هو، في الدرجة الأولى، المرونة والحرية الكاملتان اللتان توفرهما السيارة في التنقل من الباب إلى الباب، وفي أي وقت يختاره السائق. أضف إلى ذلك، قدرة المزيد من المواطنين على اقتناء سيارة خاصة بسبب الارتفاع المستمر في مستوى المعيشة ووجود النفط بأسعار معقولة خاصة في الدول النفطية. والجدول (٦ ,٣) يلخص أعداد السيارات ومعدل نموها في الأقطار العربية الآسيوية.

ويبين هذا الجدول أن معدل النمو السنوي في ملكية السيارات الخاصة بين سنتي ١٩٧٣م و١٩٧٧م يتراوح بين ٨٪ في اليمن، و٤٧٪ في المملكة العربية السعودية. أضف إلى ذلك أعداد سيارات الأجرة العامة للتنقل داخل المدن، وسيارات الاستئجار التي يقودها المستعمل، وذلك للتنقل خلال زيارة لمدينة بعيدة، كل هذه في ازدياد مستمر، وخاصة عند المطارات ومحطات الحافلات العاملة بين المدن.

وإذا كانت السيارة الخاصة هي الوسيلة الأساسية والمهمة في نقل الأفراد والجماعات الصغيرة (٢-٥ أشخاص) داخل المدن وبينها لمسافات متوسطة المدى، فإن كثيرا من الرحلات تتم باستعمال الحافلات للتنقل داخل المدن وبينها. ويعود استعمال الحافلات إلى أسباب عديدة منها: عدم القدرة على اقتناء سيارة خاصة لأسباب مادية أو صحية (أي عدم القدرة على شراء سيارة خاصة أو عدم القدرة على الحصول على رخصة قيادة سيارة لصغر السن، أو لعائق صحي، أو لبلوغ سن متقدمة لا تسمح بقيادة السيارة بأمان) أو لقوانين محلية لا تشجع على استعمال السيارة الخاصة وذلك للتخفيف من حدة الازدحام أو الاختناق المروري داخل المدن أو استجابة لبرامج الاقتصاد في استهلاك المحروقات أو برامج تخفيف تلوث الهواء داخل المدن. ويمكن تصنيف عمليات النقل بالحافلات إلى نقل داخل المدن ونقل بين المدن. ويشمل النقل داخل المدن عمليات النقل العام بالحافلات ونقل الطلاب بين البيت والمدرسة (النقل المدرسي) ونقل الناس من وإلى أماكن المعارض والاحتفالات الخاصة كمعرض عالمي أو من وإلى إستاد رياضي. ويشمل النقل بين المدن حركة المسافرين بين المدن والقرى وهذه الحركة قد تكون على أساس برنامج زمني دوري أو بوساطة إجراءات خاصة متفق عليها بين مالك الحافلة والمسافرين.

الجدول (٦, ٣): عدد السيارات ونموها في الأقطار العربية الآسيوية.

القطر	عدد السيارات (بالآلاف)				معدل النمو السنوي		عدد السيارات لكل ألف مواطن
	السنة	سيارات الصالون	أخرى	المجموع	الفترة	(٪)	
الأردن	١٩٧٦م	٣٦	١٩	٥٥	١٩٧٣-١٩٧٦م	٢٣	١٩
الإمارات العربية المتحدة	١٩٧٧م	٩٤	٤٣	١٣٧	١٩٧٣-١٩٧٧م	٣٤	١٥٦
البحرين	١٩٧٧م	٣٢	١٩	٥٢	١٩٧٣-١٩٧٧م	٢١	١٦٥
الجمهورية العربية السورية	١٩٧٦م	٦٢	٧٠	١٣٢	١٩٧٣-١٩٧٦م	٢٥	١٧
العراق	١٩٧٦م	١٦٠			١٩٧٣-١٩٧٦م	-	٢٢
عمان	١٩٧٧م	٢٧	٣٠	٥٧	١٩٧٣-١٩٧٧م	٤٣	٥٦
قطر	١٩٧٦م	٢٨	١٧	٤٥			٢٥٠
الكويت	١٩٧٦م	٢٣٦	١١٦	٣٥٣	١٩٧٣-١٩٧٧م	١٦	٣٠٠
لبنان	١٩٧٤م	٢٢٠					
المملكة العربية السعودية	١٩٧٦م	٣٧٢	٤٠٢	٧٧٤	١٩٧٣-١٩٧٦م	٤٧	١٠٤
اليمن	١٩٧٧م	٤٤	١٣	٥٧	١٩٧٣-١٩٧٧م	١١	١١
اليمن الديمقراطية	١٩٧٧م	١٢	١٥	٢٧	١٩٧٣-١٩٧٧م	٨	١٤

المصدر: «المواصلات في الوطن العربي» الفصل الأول، الجدول رقم (٥) ص ٢٤. مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ١٩٨٢م.

الطرق المائية والبحرية Waterways. نظرا لعدم وجود حركة تجارية تذكر تعتمد على النقل المائي داخل الأقطار العربية بسبب الاعتماد الأكبر على النقل البري، وعدم توافر عديد من الأنهار والبحيرات الصالحة للملاحة، فسيركز هذا القسم على النقل البحري بين الدول العربية من جهة وبينها وبين العالم الخارجي من جهة أخرى.

فعلى الصعيد العالمي، يخدم النقل البحري ٧٥٪ تقريبا من التجارة الخارجية الدولية، وهذه التجارة آخذة في الازدياد نظرا للازدياد في التبادل التجاري العالمي والاعتماد المتزايد والمتبادل بين الدول. وبالطبع، فقد تبع الازدياد في التجارة ازدياد متناسب في عدد الناقلات البحرية وكذلك توسع في قدرات المرافئ من ناحية سعتها وعملياتها.

أما بالنسبة للتجارة العربية الخارجية ، فنظرا للنمو الهائل الذي شهدته المنطقة العربية ، وخاصة النفطية منها ، خلال العقدين الماضيين ، فقد ساهمت هذه التجارة بنحو ٣٠٪ من التجارة العالمية . وهذا يشكل ارتفاعا ملحوظا في التبادل التجاري بين الدول العربية والعالم الخارجي خلال السبعينيات الميلادية . وبسبب الطلب العالمي على النفط فقد شكل نقل النفط ومشتقاته بحرا أكثر من ٩٥٪ (بالأطنان) من حركة التجارة بين الدول العربية من جهة ، وبينها والعالم الخارجي من جهة أخرى . ويبين الجدول (٧ , ٣) حجم التبادل التجاري البحري للأقطار العربية لسنة ١٩٧٧م بآلاف الأطنان .

ورغم النمو الملحوظ في حجم الأسطول العربي التجاري الذي رافق النمو العام في التجارة الخارجية ، غير أن نسبة الأطنان المنقولة على الأسطول العربي لا تشكل أكثر من ٢٪ من التجارة البحرية العربية ، بينما يقدر حجم هذه التجارة بأكثر من ٣٠٪ من التجارة العالمية . وعلى أي حال ، فإن الأسطول العربي في نمو وتحديث مستمرين ، ويتفاعل إيجابيا مع التطور العالمي في النقل البحري . ويعود السبب الرئيسي لهذا الفرق الشاسع إلى صغر حجم الأسطول العربي رغم حداثة كثير من سفنه وحسن نوعيتها ، وكذلك منافسة الأساطيل الأجنبية له . وقد ازدادت سعة الأسطول العربي من ١,٣٨ مليون طن في عام ١٩٧٠م إلى ١٤,٧٧ مليون طن في عام ١٩٧٩م .

أما الموانئ البحرية العربية ، فقد توسعت كمًا ونوعا استجابة للازدياد في التجارة الخارجية العربية ، وأصبحت مراكز أساسية لحركة الواردات والصادرات من وإلى الدول العربية . وقد أصبحت هذه الموانئ جزءا مهما في رحلة السلع بين مراكز إنتاجها ومواطن استهلاكها ، إذ إن وسيلة النقل كثيرا ما تتغير بين بر وبحر وجو لتأمين وصول السلعة إلى المستهلك بأقل الأسعار . وأبرز مظاهر التطور في سعات الموانئ العربية هو إنشاء موانئ خاصة لتصدير النفط والغاز الطبيعي السائل ، كماحدث في الجزائر ، والمملكة العربية السعودية ، وغيرها من الدول النفطية ، وكذلك تحديث الموانئ الحالية من أرصفة ومعدات لتمكينها من تفريغ السفن وتحميلها آليا ، والقدرة على استقبال الحاويات الحديدية وتخزينها وشحنها . ويلخص الجدول (٨ , ٣) سعات الموانئ العربية ونوعها .

ويبين الجدول أن الموانئ العربية تملك سعات كافية لاستقبال السلع والمواد الخام من نفط وفوسفات وغيرها وتوريدها . أما تنقل الركاب بوساطة الطرق المائية فشبه معدوم ، إلا في بعض الدول كمصر والمغرب والمملكة العربية السعودية خلال موسم الحج . وهذا متوقع إذ إن الأغلبية الساحقة من رحلات الركاب تتم بوسائل النقل البري أو الجوي .

النقل الجوى Air Transport: يؤدي النقل الجوي دورا مهما في عمليات النقل ، وخاصة للمسافات التي تزيد على ٤٠٠ - ٥٠٠كم . وقد نمت صناعة النقل الجوي نموا سريعا وخاصة في الخمسينيات والستينيات الميلادية ، وعقب بدء استعمال المحرك النفاث في الطائرات المدنية . ويعود ارتفاع الطلب على النقل الجوي إلى أسباب عديدة منها النمو الاقتصادي والسكاني ، والتطور الاجتماعي والتقني ، وإمكانية إيصال الخدمة إلى المناطق النائية بوقت قصير مقارنة بوسائل النقل البديلة . ويعد الطيران وسيلة فعالة للتنقل ، وخاصة في البلاد العربية الواسعة التي يفصل بين تجمعات السكان فيها مساحات كبيرة من الصحارى ، كما هي الحال في المملكة العربية السعودية

الجدول (٣,٧): التجارة البحرية للأقطار العربية لسنة ١٩٧٧م (بآلاف الأطنان).

القطر	المحملة				المفرغة			
	النفط		الحمولات الجافة	المجموع	النفط		الحمولات الجافة	المجموع
	خام	مشتقات			خام	مشتقات		
الأردن	-	-	١٧٢٢	١٧٢٢	١١٨١	٦٩	١٣٩	١٣٨٩
الإمارات العربية المتحدة	٩٦٨٣٥	٨٠	٢٠٠	٩٧١١٥	-	١٨٠٦	٤٠٠٠٠	٥٨٠٦
البحرين	-	١٠١٤٨	١٩٠٠	١٢٠٤٨	-	-	١٢٠٠	١٢٠٠
تونس	٨١٤٥	٣	١٥٤١	٩٦٨٩	١٠٣٥	٧٩٧	٣٩١١	٥٧٤٣
الجزائر	٣٧٠٠٠	٤٦٩٦	٣٧٩٦	٤٥٤٩٢	-	٨٩٤	١١٩٣٤	١٢٨٢٨
الجماهيرية العربية الليبية	٩٣٥٨٤	٢٢٨٤	٤٠	٩٥٩٠٨	-	٩٢٠	٦٩٠٠	٧٨٢٠
الجمهورية العربية السورية	٧٩٤٩	٣٦٦	٤٥١	٧٨٦٦	٢٩١٦	١٤٢٤	٣٣٩٥	٧٧٣٥
جيبوتي	٥٠٠	-	-	٥٠٠	-	٥٢٥	٣٧٥	٩٠٠
السودان	-	-	١٢٠٠	١٢٠٠	١٢٤٠	٥٩٩	٧٦١	٢٦٠٠
الصومال	-	-	٤٠٠	٤٠٠	-	٨٢	٣٣٩	٤٢١
العراق	٨٨٤٨٤	٨٠٠	٥٩٥	٨٩٨٧٩	-	-	٣٦٤٩	٣٦٥٠
عمان	١٦٦٨٠	-	٢٠	١٦٧٠٠	-	١١٧٠	٣٧٥	١٥٤٥
قطر	٢٠٦٨٢	٢٥	٢٩٠	٢٠٩٩٧	-	٤٥	١٧٥٥	١٨٤٥
الكويت	٨٠٧٣١	١١٩٥٩	٣٢٠٠	٩٥٨٩٠	-	-	٥٥٠٠	٥٥٠٠
لبنان	-	١٥٠	٣٥٠	٥٠٠	١٧٤٠	٢٤١	٢٣٠	٢٢١١
مصر	٦٧٦٣	٣٦٥	٢١٧١	٩٢٩٩	١٧٣٧	٤٢٢	١٢٣٤٧	١٤٥٠٦
المغرب	-	-	١٨٣٩٦	١٨٣٩٦	٢٨٥٠	٥٦٢	٤٧٨٤	٨١٩٦
المملكة العربية السعودية	٤١٨١٠٢	١١٤٨٠	١١٠	٤٢٩٦٩٢	-	-	١٣٣١٦	١٣٣١٦
موريتانيا	-	-	٨٥٠٠	٨٥٠٠	-	١٧٨	٣٠٢	٤٨٠
اليمن	-	-	٣٠	٣٠	-	٢٤٨	٢٧٠	٥١٨
اليمن الديمقراطية.	-	١٢٨٥	٩٨٠	١٥٦٥	١٩١٧	٢٥٢	٩٢٠	٣٠٨٩
المجموع	٨٧٥٤٥٥	١٣٦٤١	٥١٩١	٩٦٤٢٨٨	١٤٦١٦	١٠٢٣٥	٧٦٤٠٢	١٠١٢٩٨

المصدر: «المواصلات في الوطن العربي» الفصل العاشر، الجدول رقم (٣) ص ٢١٠. مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ١٩٨٢م.

الجدول (٣,٨): الموانئ البحرية العربية.

الدولة	اسم الميناء	عدد الأرصفة مجتمعة	نوع العمليات والسلع
الأردن	العقبة	٦	سلع عامة، فوسفات، دحرجة آلية وحاويات
الإمارات العربية المتحدة	الرويس، أبو النجوش، جزيرة واس، هالات المبراس، جبل ظانا، ميناء زايد، ميناء فتح، جبل علي، ميناء راشد، الفجيرة، صقر، ميناء خالد وميناء مبارك	٦٨ بالإضافة إلى ٤ مراسي و٧ عوامات	سلع عامة، النفط ومشتقاتة والغاز السائل
البحرين	ميناء سلمان ، سيترا	٢٤	سلع عامة، دحرجة آلية، نفط وغاز سائل
تونس	سفاقس، خلق الوادي، بنزرت، سوسة، قابس، وشيخرا	٢٩	سلع عامة، فوسفات، كيميائيات، خامات ونفط
الجزائر	الجزائر، عنابة، أوزو، أوران، سكيكدا، بيجايا، الحارويت، مستغانم	١٦	سلع عامة، غاز سائل ، خامات معدنية
الجماهيرية العربية الليبية	رأس لانوف، طرابلس، درنة، بني غازي، السدر، مرسى البريكا، مسراطا، زويتينا ، زاوية	٣٤ ومرسيان	سلع عامة، نفط ومشتقاته ، غاز سائل
الجمهورية العربية السورية	اللاذقية، بانياس ، طرطوس	٢٩	ركاب، سلع عامة، نفط
جيبوتي	جيبوتي	٢٢	سلع عامة ووقود ونفط
السودان	بورسودان	٢٨	سلع عامة ونفط
الصومال	بربرة، مركا مقاديشيو	١٥	سلع عامة، النفط ومشتقاته، الموز، ماشية

تابع الجدول (٣,٨).

الدولة	اسم الميناء	عدد الأرصفة مجتمعة	نوع العمليات والسلع
العراق	البصرة، الفاو، خور العمية، خور الزبير، ميناء البكر، أم قصر	٤٥	سلع عامة، نفط، فوسفات، كيميائيات، حاويات
عمان	الفحال، قابوس، صلالة	١٤ و٣ عوامات	سلع عامة، حاويات، نفط.
قطر	الدوحة، حالون، أم سعيد	١٧ وعوامتان	سلع عامة، نفط، صلب، وكيميائيات
الكويت	ميناء عبدالله، الأحمدي، سعود، الشعيبة، الشويخ	٤٩ و٤ عوامات	نفط ومشتقاته، سلع عامة، أسمدة وحاويات
لبنان	بيروت، طرابلس، صيدا، شكا، رأس سلاتا	٣٦	سلع عامة، نفط، خامات، إسمنت، سلفات، فواكه
مصر	الإسكندرية، بور سعيد، أبو زنيمة، رأس العريب، رأس شقير، سفاجا، السويس	٧٦ و٥٠ عوامة	سلع عامة، دحرجة، حاويات، نفط، خامات حديد، فوسفات، ركاب
المغرب	الداخلة، الناظور، الدار البيضاء، المحمدية، أغادير، القنيطرة، طنجة، أسفي، العيون	٥١	سلع عامة، حديد، صلب، منتجات زراعية، فوسفات، نفط وغاز، معادن، ركاب
المملكة العربية السعودية	جدة، الدمام، نعيمة، الجبيل، رأس الخفجي، رأس تنورة، ينبع، جيزان و١٢ ميناء آخر.	١٤٢	سلع عامة، حاويات، دحرجة آلية، نفط ومشتقاته، غاز سائل، كيميائيات، إسمنت، ركاب
موريتانيا	نواديبو ونواقشواط	١ ومرسى بحري	سلع عامة وخامات الحديد
اليمن	الحديدة وسليف	٥	سلع عامة ونفط
اليمن الديمقراطية	عدن	٣٦	سلع عامة، نفط ومشتقاته

المصدر: «المواصلات في الوطن العربي»، الفصل العاشر، الجدول رقم (٦)، ص: ٢١٧. مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت ١٩٨٢م.

والجزائر وغيرهما . ولهذا السبب، بالإضافة إلى أسباب عديدة أخرى، اهتمت هذه الدول بإنشاء شركات طيران وطنية وساهمت في تمويلها مساهمة فعالة. وهكذا تمت ولادة أكثر من ١٧ شركة طيران تخدم احتياجات النقل الجوي العربي وتربط الدول العربية ببعضها ، وبالعالم الخارجي. وقد أصبحت هذه الشركات إحدى المفاخر الوطنية وأحد رموز الاستقلال فيها.

ورغم التفاوت الظاهر بين حجم هذه الشركات وعملياتها وخدمة كل منها، إلا أنها جميعها تنتمي إلى عضوية الاتحاد الدولي للنقل الجوي (إياتا IATA) وتشكل فيما بينها الاتحاد العربي للنقل الجوي (AACO). وتنظّم هذه العضوية العلاقة بين الشركات الغربية والدولية من جهة وبين هذه الشركات من جهة أخرى. والفائدة المتوخاة من هذا الانتساب هو التعاون الفني والإداري بين الشركات لتوفير الخدمة الجيدة والسليمة للمستعمل.

ويمكن تصنيف النقل الجوي على أساس النقل التجاري، والنقل الخاص، والنقل العسكري. ويمكن تصنيفه، أيضاً، على أساس إن كان مدنياً أو عسكرياً أو خاصاً. ويشمل الطيران الخاص الطيران الترفيهي والتنقل بالطائرات الخاصة التي يملكها الأفراد أو الشركات التي تستعملها في نقل موظفيها ومعداتها ومنتجاتها. وتعدُّ ملكية شركة خاصة لطائرة أو أكثر أمراً شائعاً في الولايات المتحدة الأمريكية. وهناك شركات خاصة تعتمد على الطائرة كوسيلة لأداء خدماتها كالتصوير الجوي الفوتوغرافي، أو مكافحة الحرائق من الجو، أو نشر السماد والكيميائيات من الجو.

وأما الخدمات فيمكن تصنيفها على أساس خدمات طيران داخلية أي رحلات داخل البلد الواحد، أو خدمات طيران عالمية أي رحلات بين دول مستقلة، أو خدمات شحن السلع والبضائع، وأخيرا خدمات الطائرات العمودية (الهيليكوبتر). ويتبع كل نوع من هذه الخدمات قوانين وإجراءات خاصة بها لضمان نوعية الخدمة وتكراريتها وذلك لتلبية الطلب عليها وخدمة المستهلك.

وقد نمت حركة الطيران المدني في الدول العربية نموا كبيرا خلال العقدين الماضيين وذلك استجابة لطلب المواطن العربي ورجل الأعمال لخدمات الطيران التي تتميز عن غيرها بالسرعة والأمان النسبي. ولذا، فقد تضاعف عدد الرحلات الجوية مرارا، وازدادت أعداد المواطنين المسافرين من بضعة مئات إلى بضعة ملايين خلال فترة قصيرة من الزمن. ويبين الجدول (٩ , ٣) حركة النقل الجوي في المطارات العربية لسنتي ١٩٧٨ و ١٩٧٩م. ويجدر القول إن حركة النقل الجوي في ازدياد مستمر إذ إن الانتهاء من المطارات الجديدة العالمية في بعض الدول العربية وتشغيلها، وخاصة المملكة العربية السعودية، قد شجع على استعمال النقل الجوي بديلاً لوسائل النقل الأخرى.

وتؤدي المطارات دورا مهما في حركة النقل الجوي إذ إنها نقطة البداية لأي رحلة جوية ونقطة النهاية، أيضا، بالإضافة إلى، ذلك فإنها توفر حلقة الوصل بين النقل الجوي والبري، وتوفر الخدمات العامة التي تحتاجها الطائرات من وقود وصيانة وتخزين. وكذلك تؤمن مركزا لتجمع المسافرين وتوديعهم واستقبالهم، إلى غير ذلك من الخدمات الأخرى. ويمكن تصنيف المطارات إلى: (١) مطارات محلية، (٢) مطارات عالمية، (٣) مطارات عسكرية. وبسبب اتساع رقعة الوطن العربي وتعدد الدول فيه، وبالتالي، تعدد شركات الطيران، فقد أنشيء ما يربو على مائة مطار مدني، أكثرها للخدمات المحلية، ولكن هناك مطارا عالميا واحدا، في الأقل، في كل دولة يؤمن لها الارتباط الدولي والخارجي.

الجدول (٩,٣): حركة النقل الجوي في المطارات العربية.

المطار	المسافرون (بالألف)		الزيادة كنسبة مئوية إلى عدد المسافرين بالآلاف عام ١٩٧٩م (٪)
	١٩٧٨م	١٩٧٩م	
أبو ظبي	٦٨١	٨٠٠	١٥
البحرين	٩٤٧	٩٧٧	٣
بغداد	٨٩٩	٩٨٠	٨
بنغازي	٢١٦	٢٤٤	١١
بيروت	١٢٨٢	١٤٥٢	١٢
تونس	٢٥١٤	-	
جدة[١]	٢٢٨٠	٢٤٣٧	٦
دبي	١٢٤٧	١٣٥٠	٨
دمشق	٩١٩	٩٤٨	٣
الدوحة	٥٦٦	٥٥٧	-٢
الشارقة	٥٢	٥٦	٧
طرابلس	٦٤٦	٦٥٨	٢
الظهران[١]	٩٣٨	١٠٦٢	١٢
عمان	١١٥٢	١٤٥٣	٢١
الكويت	١٧٣٣	١٨١٥	٥
المجموع	١٣٥٥٨[٢]	١٤٧٨٩[٢]	٩[٢]

المصدر: «المواصلات في الوطن العربي» الفصل السابع عشر، الجدول رقم (٤) ص٣٢٨. مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ١٩٨٢م.

(١) أرقام مطاري جدة والظهران هي للناقلين الأجانب، فقط.

(٢) باستثناء تونس.

ملاحظة عامة: تشير العلامة «-» إلى أن البيانات غير متوافرة.

أما الطائرات المستعملة في شركات الطيران العربية فمعظمها من مصدر أمريكي أو أوروبي، إذ إن صناعة الطائرات في الدول العربية تكاد تكون شبه معدومة. ولكن، عبر السنين، وبسبب تعدد شركات الطيران العربية، فقد تجمع لدى هذه الشركات مجتمعة أسطول كبير من الطائرات المختلفة النوع والصنع يفوق عددها الإجمالي عدد طائرات وممتلكات أية شركة طيران عالمية كبرى. وهناك فوائد عديدة في توحيد صنع عديد من الطائرات، إذ إن توحيد الصنع يوفر لشركة الطيران التوفير في متطلبات التدريب والتشغيل، وتخزين كميات محددة من قطع الغيار. أما أعداد الطائرات الموجودة عند كل شركة عربية ونوعها فهذا مبين في الجدولين (١٠ , ٣) و(١١ , ٣)، على التوالي.

النقل عبر الأنابيب Pipelines: يحتل النقل عبر الأنابيب صفة خاصة في البلاد العربية، إذ تنقل نسبة كبيرة من النفط بالأنابيب وخاصة عبر المسافة بين آبار النفط ونقطة التصدير التي غالبا ما تكون ميناء خاصا لتصدير النفط. وكانت أهمية النقل بالأنابيب بالغة جدا في الخمسينيات والستينيات الميلادية، إذ إن ناقلات النفط آنذاك كانت صغيرة الحجم إذا ما قورنت بناقلات النفط الضخمة الحالية التي بدأ استعمالها في أواخر الستينيات الميلادية. وعلى أي حال، فإن النقل عبر الأنابيب وسيلة مهمة في نقل النفط والغاز في البلاد العربية. ونظرا للتكلفة العالية التي يتطلبها إنشاء خطوط الأنابيب، نجد أن معظم هذه الخطوط ملكا للدولة التي أنشأتها.

ويمكن تصنيف الأنابيب إلى ثلاثة أنواع: الخطوط المجمعة التي تنقل الزيت الخام من آبار النفط إلى محطات الضخ، والخطوط الرئيسية للزيت الخام التي تنقل الزيت الخام مسافات طويلة، وأخيرا خطوط نقل مشتقات البترول التي تنقل البنزين والكيروسين وغيرهما من مشتقات الزيت.

وأبرز خطوط أنابيب النفط في المشرق والجزيرة العربية تلك التي تبدأ من آبار الزيت الضخمة في المملكة العربية السعودية وتتجه إلى وتنتهي في سوريا ولبنان، وكذلك الخط الجديد عبر الجزيرة العربية من رأس تنورة إلى ميناء مدينة ينبع الصناعية على البحر الأحمر، وآخر يبدأ عند آبار النفط في العراق ويتجه شمالا عبر تركيا فإلى البحر الأبيض المتوسط. وهناك استعمال آخر للنقل بالأنابيب ألا وهو نقل المياه المحلاة من محطات التحلية إلى المدن التي تخدمها هذه المحطات. ويمكن ذكر العديد من المدن التي تعتمد على تحلية المياه المالحة في سد احتياجاتها من المياه الحلوة، وهذه تشمل مدينة الرياض ومكة المكرمة والمدينة المنورة في المملكة العربية السعودية.

السيور المتحركة Conveyors: ينحصر استعمال السيور المتحركة في المصانع الكبيرة، وفي المناجم لنقل المواد الخام لمسافات لا تتعدى ٨ أميال (١٣ كم). وأما الاستعمال الأعم لهذه التقنية فهو في الأرصفة والسلالم المتحركة التي نراها في المطارات وبعض المجمعات والمباني التجارية.

الطرق المعلقة Cableways: يتمثل هذا النظام في تقنية العربات الهوائية المعلقة التي توفر نظاما خاصا للنقل في المناطق التي يصعب فيها إنشاء أي نظام آخر. وهذا يشمل المناطق الجبلية الوعرة. وعادة ما يستعمل هذا النظام في

الجدول (٣,١٠): أعداد الطائرات الموجودة لدى شركات الطيران العربية.

الشركة	عدد الطائرات
الأردنية (عالية)	١٢
التونسية	١٢
الجزائرية	٣٢
الجيبوتية	٤
طيران الخليج	٢٤
السعودية	٥٤
السودانية	٨
السورية	٩
الصومالية	٦
العراقية	١٣
الكويتية	١٢
اللبنانية (طيران الشرق الأوسط)	٢١
الليبية	٣٠
المصرية	٢٦
المغربية	١٥
اليمن الشعبية	٧
اليمنية	٩
المجموع	**٢٨٤**

المصدر: «المواصلات في الوطن العربي» الفصل السابع عشر، الجدول رقم (٢) ص٣٢٥. مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ١٩٨٢م.

الجدول (٣,١١): أنواع طائرات الأساطيل العربية.

نوع الطائرة	العدد	
	في الخدمة	قيد الصنع
بوينغ ٧٠٧	٥٥	-
بوينغ ٧٢٠	١٩	-
بوينغ ٧٢٧	٣٨	٨
بوينغ ٧٣٧	٦٢	-
بوينغ ٧٤٧	١٩	٥
لوكهيد ١٠١١	١٧	٢
سوبر كارافيل	٤	-
إيرباص	٢	-
دي. سي. ٨	٥	-
فوكر ٢٧	٩	١
كونفير	٤	-
نورد	٥	-
طائرات صغيرة	٤٥	٢
المجموع	٢٨٤	١٨

المصدر: «المواصلات في الوطن العربي» الفصل السابع عشر، الجدول رقم (٥) ص٣٢٩. مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ١٩٨٢م.

عمليات التعدين أو الكسارات الصخرية لنقل المواد الخام أو مواد الإنشاء (الحصى والصخور وغيرها) من المنجم إلى مكان استعمالها أو شحنها.

واستعمال هذا النوع من النقل شائع في البلاد الأوروبية، حيث يستعمل في نقل السلع والركاب وخاصة في مناطق جبال الألب العالية. أما في الوطن العربي فإن هذا النوع من النقل غير شائع إلا في لبنان حيث يوجد بعض الخطوط لنقل محبي التزلج من سفح الجبل إلى قمته.

خـــلاصـــــة

SUMMARY

لقد رُكز في هذا الفصل على أمور ثلاثة :

أولا : تصنيف وسائل النقل ومكونات نظام النقل .

ثانيا : السياسات العامة المتعلقة بالنقل والمؤسسات الحكومية المسؤولة عنها .

ثالثا : النظام بشكله المادي المؤلف من ناقلات السلع والركاب .

أما تصنيف وسائل النقل ومكوناته فقد بحثنا نظم وسائل النقل المختلفة من سكك حديدية وطرق مرصوفة ومائية وجوية وخطوط الأنابيب والسيور المتحركة . وكذلك بحثت أنواع النظم المختلفة لتشغيل وسائل النقل ، ونظم الأجرة لخدمات النقل ، وكذلك ملكية أجزاء النظام . أما بالنسبة للسياسات العامة للنقل ودور الدولة في ذلك فقد بُحث دور الجهة الحكومية في سن قوانين النقل ووضع اللوائح المنظمة ومراقبة تطبيقها ومدى التقيد بها ، وكذلك المؤسسات والمصالح الحكومية المعنية بالنقل ، وقد أخذنا المملكة العربية السعودية مثالاً على ذلك . وأخيرا ، بحثنا معدات نظم النقل المختلفة وحركتها على أساس قدرتها واستعمالاتها ، وتحدثنا في هذا الخصوص عن هذه النظم في البلاد العربية كمجموعة واحدة .

أسئلـــة للدراســـة

QUESTIONS FOR STUDY

١ - عدّد بشكل مختصر مكونات النظام الموحد للنقل .

٢ - اشرح فوائد نظم النقل الخاصة وسلبياتها التابعة لـ :

(أ) الأفراد

(ب) الشركات الصغيرة

(جـ) الشركات الكبيرة

٣ - ما الفوارق العامة بين :

(أ) النقل الخاص

(ب) والنقل العام

(جـ) والنقل السريع ؟

٤ - ما واجبات وصلاحيات الوزارة أو الجهة الحكومية المسؤولة عن سياسات النقل في أي بلد عربي؟

٥ - ما مسؤوليات وكالة وزارة المواصلات لشؤون الطرق في المملكة العربية السعودية؟

٦ - ما مسؤوليات وبرامج وكالة وزارة المواصلات لشؤون النقل في المملكة العربية السعودية؟

٧ - عدّد بترتيب تنازلي نظم النقل الأكثر استعمالا في الوطن العربي لنقل الركاب :

(أ) داخل المدن

(ب) بين المدن

(جـ) بين البلدان المتجاورة

٨ - عدد بترتيب تنازلي نظم النقل الأكثر ملاءمة واستعمالا في الوطن العربي لنقل السلع :

(أ) داخل المدن

(ب) بين المدن

(جـ) بين البلدان المتجاورة

قـــراءات مقترحـــة
SUGGESTED READINGS

مراجع عربية

١ - *خطة التنمية الثالثة للمملكة العربية السعودية* ١٤٠٠ - ١٤٠٥هـ(١٩٨٠ - ١٩٨٥م). وزارة التخطيط السعودية.

٢ - *المواصلات في الوطن العربي*، بحوث ومناقشات الندوة الفكرية التي نظمها مركز دراسات الوحدة العربية. مركز الوحدة العربية. بيروت ١٩٨٢م.

٣ - *خطة التنميـة الخامسـة للمملكـة العربية السعوديـة* ١٤١٠-١٤١٥هـ(١٩٩٠-١٩٩٥م). وزارة التخطيط السعودية، الرياض.

مراجع إنجليزية

1. Wilbur G. Hudson, *Conveyors and related Equipment,* 3rd edition, Wiley, New York, 1954.
2. "1972 and 1974 National Transportation Reports: Present Status–Future Alternatives," U.S. Department of Transportation, Office of the Secretary for Policy and International Affairs, July 1972 and 1974, Washington, D.C.
3. *Big Load A float,* a publication of the American Waterways Operators, Washington, D.C., 1973.
4. *Transportation, The Nation's Life Line,* George M. Harmon, Editor, Industrial College of the Armed Forces, Washington, D.C., 1968.
5. *Competition Between Rail and Truck in Freight Transportation,* Charles River Associates, Cambridge, Massachusetts, December 1969, Contract No. DOTOS-A9-060, Office of Assistant Secretary for Policy and International Affairs.
6. *National Transportation Policy* (The Doyle Report), Preliminary draft of a report prepared for the Committee on Interstate and Foreign Commerce, U.S. Senate by the Special Study Group on Transportation Policies in the United States, 87th Congress, 1st Session, January 3, 1961.
7. Harold L. Gauthier, *Georgraphy of Transportation,* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1973.

8. *Defining Transportation Requirements,* papers and discussion of the 1968 Transportation Engineering Conference of the American Society of Mechanical Engineers, October 1968, New York Academy of Science, New York.
9. *Bus Use of Highways–Planning and Design Guidelines,* National Cooperative Highway Research Program No. 143, Highway Research Board–National Research Council et al., Washington, D.C., 1973.
10. *Bus Use of Highways–Planning and Design Guidelines,* National Cooperative Highway Research Program No. 155, Transportation Research Board–National Research Council, Washington, D.C., 1975.
11.. Donald R. Whitnah, *Super Skyways: Federal Control of Aviation,* Iowa State University Press. Ames. Iowa, 1966.
12. Dudley E. Pegrum, *Transportation Economics and Public Policy,* Richard D. Irwin, Homewood, Illinois, 1968.
13. Noël Mostert, *Supership,* Knopf, New York, 1974.
14. G.M. Smerk, *Urban Transportation,* The Feral Role, Indiana University Press, Bloomington, Indiana, 1965.

الباب الثاني

تقنيـــة النقـــل
TRANSPORT TECHNOLOGY

الفصل الرابع

الخصائص التقنية
TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS

تتحد المكونات التقنية لنظام النقل — وهي المركبة والقدرة المحرّكة والطريق والمحطات والتحكم بالتشغيل — التي سبق بيانها في الشكل (٢ ، ١) وتتضافر جميعها لتوفير إمكانية النقل ومنفعته للمستعمل، بغض النظر عن نوع واسطة النقل وطبيعة تركيبها . وفي هذا الفصل، سنتحدث أولاً عن المركبة وخصائصها المهمة في عملية النقل، على الرغم من أنه لا يمكن دائما إيجاد حدود فاصلة واضحة بين المركبة من جهة، والقدرة المحركة والطريق من جهة أخرى .

خصائص وسائط النقل
MODAL CHARACTERISTICS

المزايا الذاتية Inherent Advantages. لكل وسيلة نقل خصائص تقنية واقتصادية تتفاعل مع بعضها لتعطي مزايا تشغيلها وعيوبها . كما أن هذه المجموعة من الخصائص تضفي على كل وسيلة نقل تميزا في مجال مفيد معين، وقد تكون فائدتها هامشية إذا ما استعملت في غير ذلك المجال . ولكن قد يستمر تشغيل بعض خدمات النقل رغم فائدتها الهامشية، وذلك بسبب وجود طلب مرتفع على خدمات النقل (والذي يحدث، عادة، في وقت الحرب، أو عندما يكون الاقتصاد في نمو سريع، أو من خلال رغبات المستفيدين وتفضيلهم، أو عندما لا تتوافر وسائل نقل أخرى)، أو بسبب وجود دعم حكومي أو قيود تنظيمية للمنافسة .

إن نظام النقل الفعال سواء كان محليا أو عالميا يوفر ويشجع الاستغلال التام لمزاياه الذاتية . وهذا المفهوم يمثل السياسة العامة والمعلنة لأية حكومة في تشريعاتها المتعلقة بسياسات النقل الوطنية التي تنص على وجود تنظيم عادل ومتكامل لجميع وسائط النقل وذلك للحفاظ على المزايا الذاتية لكل منها .

وفي أحيان كثيرة، تتم الاستفادة القصوى من مزايا كل وسيلة من وسائل النقل بالتنسيق والاستفادة من مزايا وسائل النقل الأخرى. فمثلا، لا يمكن تحقيق الفائدة القصوى من وسائل النقل المائي للمواد السائبة إلا إذا تم التنسيق مع وسائل النقل البرية. وسنناقش، لاحقاً، صعوبات التنسيق والتكامل بين هيئات النقل ومرافقه. وفي هذا الفصل والفصول التي تليه في هذا الباب، سنتطرق للخصائص الفنية المشتركة بين جميع وسائط النقل أو معظمها. وتشمل هذه الخصائص ما يلي: وحدة النقل ودرجات حرية التحرك ونظم الإرشاد والتوجيه وقوة الدفع وقوة المقاومة لها واستهلاك الطاقة والأداء الحراري ونسب الحمولة للوزن الفارغ والتعليق والاستقرار والطفو والسعة والسرعة والآثار على البيئة وسهولة التوجيه والمناورة وإمكانيات التحميل والتفريغ (حركة الركاب عادة ما تكون ذاتية التحميل والتغيير) وتأثير عوامل انحناء الطريق والارتفاع والانخفاض وتغير منسوب سطح الأرض.

وتظهر بعض هذه الخصائص التقنية جليا في سعة وسيلة النقل وفي الجوانب التشغيلية والاقتصادية للنقل، وخاصة التكلفة. وتتشابك جميع هذه الخصائص وتتفاعل في عملية اختيار نوع الناقلة، وفي تخطيط مواقع النقل ومرافق نظمه واختيارها. ويبين الشكل (٢ , ١) العلاقات التقنية - الاقتصادية لنظم النقل.

تصنيـــف وحـــدات النـقـــــل
UNIT OF TRANSPORT CLASSIFICATION

لقد صنفنا في الفصل الثالث الهيئات المعنية بالنقل إلى هيئات مختلفة معنية بالسكك الحديدية والطرق والممرات المائية والطرق الجوية والأنابيب. وكذلك صنفناها على أساس الجهات الحكومية المختلفة التي تقوم بسَنّ قوانين النقل وأنظمته وضبط التقيد بها. وأيضا، يمكن تصنيف نظم النقل على أساس نوع وحدة النقل وذلك كمؤشر لقدرتها على القيام بخدمة النقل.

الوحدات المفـردة Single Units. يمتاز هذا النوع من النقل بالجمع بين القدرة المحركة (الدافعة) والمكان المخصص لتحميل الركاب أو البضائع في هيكل واحد. ويشمل هذا الصنف السيارات والشاحنات والحافلات والطائرات والبواخر.

الوحدات المجمعة أو المتعـددة Assembled or Multiple Units. يمتاز نظام النقل هذا بوجود وحدة دفع منفصلة تقوم بتحريك أو دفع أو جرّ وحدة نقل أو أكثر مخصصة لنقل البضائع أو الركاب. فقاطرة سكة الحديد تستطيع جر عدد كبير أو قليل من العربات وذلك حسب الطلب. وكذلك، فإن زورق القطر يستطيع أن يجمع أو يوزع عدداً يصل إلى ٢٠ أو أكثر من الصنادل (السفن المسطحة للبضائع) خلال الرحلة، وكذلك الحال في قطارات النقل العام السريع، إذ إن القاطرة تستطيع إضافة أي عدد من العربات تلبية لطلب الركاب عليها. وتقوم القاطرة في هذه الحالة بدفع القطار كله أو جرّه، أو الوحدات المرتبطة بها، فقط. كما تندرج الشاحنات المكونة من رأس الشاحنة ومقطورة أو أكثر تحت هذا الصنف، حيث يمكن أن يقوم رأس الشاحنة (الجرار) بعملية تحريك عديد من المقطورات لمسافات قصيرة.

التدفق المستمر أو نظم الدفع الثابتة Continuous Flow or Stationary Propulsion System. وهذا النوع الثالث في تصنيف وحدات النقل هو نظام يعتمد على وجود «طريق» أو «مسار» ثابت يوجه الحركة ويرشدها. وتُزَوّد قوة الدفع من مصدر ثابت للطاقة متوسط الموقع، أو من عدة مصادر ثابتة ومنتشرة على طول الطريق. ففي عملية النقل بالأنابيب، مثلا، تتحرك الحمولة داخل الأنبوب، بينما الأنبوب ذاته ووحدات الضخ ثابتة لا تتحرك. وفي هذه الحالة، لا توجد «مركبة» بالمعنى التقليدي. وكذلك الأمر في النقل عبر الأرصفة والسيور المتحركة، حيث تتحرك السيور، فقط، بينما تظل القوة الدافعة ثابتة. وأيضا، تظل القوة الدافعة للعربات الهوائية المعلقة ثابتة. وتمتاز الحمولة المنقولة عبر نظام التدفق المستمر بعدم حاجتها للتغليف والفرز، ولكنها قد تحتاج للمعالجة (مثلا، يجب سحق الفحم وتعليقه في سائل ينقله عبر الأنابيب). كما أن عمليات التحميل والتفريغ في هذا النظام تتم، عادة، بوساطة المحابس والصمامات والقنوات المائلة دون الحاجة للقيام بذلك عن طريق العمالة اليدوية. ويتضح مما سبق أن من المناسب استعمال وحدات النقل المفردة لنقل الأفراد أو الجماعات الصغيرة، أو الكميات القليلة من البضائع المغلفة، وفي المقابل، استعمال الوحدات المتعددة لنقل الركاب بأعداد كبيرة، ونقل المنتجات، سواء أكانت مغلفة أو سائبة. وأيضا، فإن نظم التدفق المستمر تعد مناسبة لنقل المواد الخام بكميات كبيرة، ولكن إمكانية استعمالها في نقل الناس محدودة.

الإرشاد والقدرة على المناورة
GUIDANCE AND MANEUVERABILITY

درجات الحرية Degrees of Freedom. تعتمد مرونة التشغيل والسلامة للمركبات على مدى حريتها للحركة وقدرتها على المناورة.

درجة واحدة لحرية الحركة: في هذه الحالة، تكون حرية المركبة مقتصرة على الحركة إلى الأمام أو إلى الوراء، وذلك بوساطة قضيب حديدي أو هيكل آخر يرشد ويحدد اتجاه الحركة.

درجتان لحرية الحركة: تستطيع المركبة في هذه الحالة، أيضا، التحرك أفقيا إلى اليمين أو إلى اليسار في المستوى نفسه، بالإضافة إلى قدرتها للتحرك إلى الأمام أو إلى الوراء، كما هو الحال بالنسبة للسيارات والحافلات والبواخر.

ثلاث درجات لحرية الحركة: إضافة لما سبق، تستطيع المركبة في هذه الحالة التحرك إلى أعلى أو إلى أسفل، كما هو الحال بالنسبة للطائرات العادية والطائرات العمودية والغواصات.

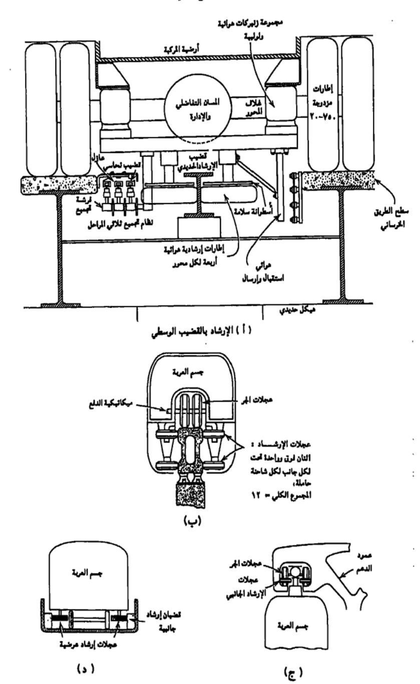
النظام الإرشادى المغلق Closed-System Guidance. يتم النقل بواساطة الأنابيب والسيور والأرصفة المتحركة، عن طريق مسار محدد لا يمكن الخروج منه، كما لا يمكن حدوث تداخل مع حركات نقل أخرى غيرهما. ولا يعتمد

التزام المسار المحدد على ظروف الطقس، بل إن هذا الإرشاد الكامل هو عنصر كامن في أنظمة النقل هذه، ولكن بأقل قدر من المرونة.

الإرشاد بالعجلات والقضبان الجانبية Lateral Wheel-Rail Guidance. من الاختراعات الحديثة في هذا المجال وضع مجرى حديدي على شكل حرف آي بالإنجليزية (I) في جسم الطريق، وذلك في المسافة بين العجلات الدافعة (التي تكون عادة، من الإطارات المطاطية)، ويرتكز على هذا المجرى عجلات موضوعة جانبياً، كما في الشكل (١, ٤). وهذا الأسلوب يضمن استمرار الإرشاد ما دامت العجلات الجانبية متلاصقة مع المجرى الحديدي. وتوجد أشكال أخرى لهذا الأسلوب، حيث يمكن أن ترتكز العجلات الجانبية على ألواح جانبية خارج العجلات الدافعة، وهذه التقنية هي المستعملة في القطارات الأرضية في مونتريال وباريس، بالإضافة إلى العجلات التقليدية المشفهة التي تضمن الإرشاد عبر مفاتيح التحويل عند تفريعات السكك الحديدية وتقاطعاتها. أما في حالة الإرشاد بوساطة المجرى الحديدي المركزي، فيجب تحريك المجرى بأكمله عند التفريعات والتقاطعات، مما يستغرق وقتا أطول من الثواني الثلاث التي يستغرقها تحريك مفتاح التحويل. وهناك نظام يستخدم منضدة متحركة تقوم بتحريك المركبة وقطاع الطريق تحريكاً كاملا جانبيا من مسار لآخر عند التقاطعات والتفريعات، وهذه عملية بطيئة. وهناك نظام آخر يستخدم أذرعة تتدلى من المركبة وتركب في فتحات مجرى إرشادي مواز للطريق، وتسير هذه الأذرعة داخل المجرى وتقوم بدورها بإرشاد المركبة. ويحدد وجود مجرى الإرشاد على أحد جانبي الطريق الذراع الإرشادية (اليمنى أم اليسرى) المسؤولة عن استلام الإرشاد وتوجيه حركة المركبة عند نقطة التفرع.

الإرشاد بالقضبان المشفهة Rail-Flange Guidance. يتم إرشاد القطارات التي تسير على السكك الحديدية، بجميع أنواعها، بوساطة عجلات مشفهة تركب على قضبان حديدية. وقد تتجاوز شفّة العجلة ٢,٥٤ سم ولكنها، بالإضافة لوزن المركبة ونعومة القضبان، توفر الإرشاد الآمن للحركة دون الاعتماد على الجهود البشرية. وبهذا تبقى المركبة في مسارها تحت كافة ظروف الطقس. وهناك وسائل نقل أخرى تستخدم نفس الأسلوب الإرشادي مثل المصاعد، وأنظمة القطارات أحادية القضبان، وبعض أنواع العربات الهوائية المعلقة، والتي عادة ما تستخدم شفتين بدلا من واحدة في عجلات الإرشاد. ويفتقر هذا الأسلوب للإرشاد بالقضبان المشفهة للمرونة بشكل مؤكد، حيث لا تستطيع المركبة التوجه إلا للأماكن التي سبقتها السكك الحديدية إليها، كما أن مفاتيح التحويل ضرورية لتغيير مسار القطار من سكة إلى أخرى (انظر الجزء الخاص بالتصميم الهندسي)، ومع ذلك، فإن الانتشار الواسع لشبكات السكك الحديدية يجعلها أكثر مرونة.

الإرشاد الإلكتروني Electronic Guidance. يستخدم الإرشاد الإلكتروني عادة في إرشاد الطائرات، حيث يمكن ضبط «الطيار الآلي» للطائرة على موجة اتصالات لاسلكية موجهة خصيصا لإرشاد الطائرة. كما يمكن إرشاد السفن بأجهزة آلية مشابهة تقوم بتوجيه دفة القيادة نحو المسار المحدد مسبقا. وقد جرى، على سبيل التجربة،



(أ) إرشاد بالقضيب الوسطي: طريق سريع لمركبات النقل العام.
(ب) إرشاد بالقضيب الوسطى: نظام مدعم بـ(ALWEG).
(ج) إرشاد جانبي: نظام معلق مؤمن.
(د) إرشاد جانبي: بالإطارات المطاطية.

الشكل (٤,١). نظم الإرشاد بالعجلة العرضية.

(Courtesy of Westinghouse Electric Corporation)

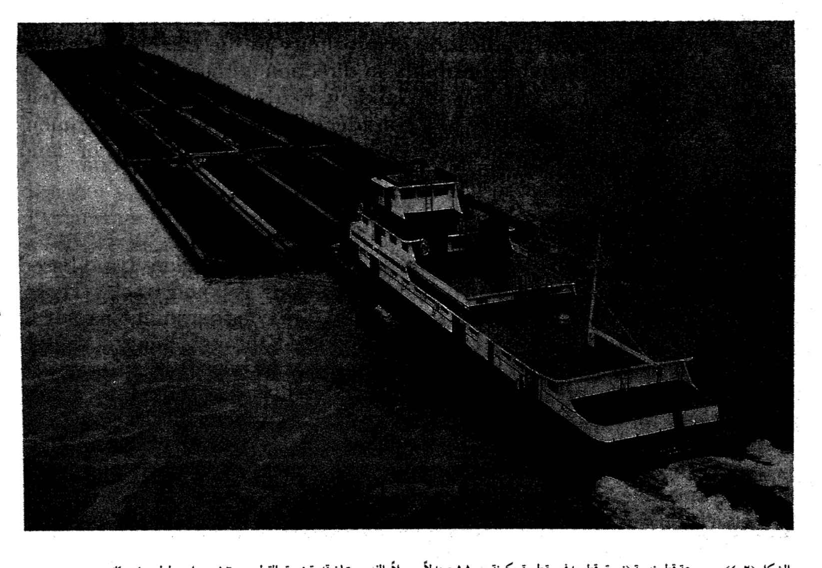
توجيه المركبات على الطرق آليا وذلك بالحث الصادر من أسلاك كهربائية سميكة مغروسة في وسط الحارة المرصوفة من الطريق مما يمكن من مكننة الحركة على الطرق.

ومن المعروف اليوم أنه يمكن توجيه الطائرات والقذائف والصواريخ بأنواعها، لاسلكيا عن طريق جهاز التحكم عن بعد. وهذا يمكن من الاستفادة من هذا النوع من التحكم في وسائل النقل الأخرى مثل السفن والشاحنات والسيارات. كما يتم التحكم بتوجيه السفن الفضائية عن طريق طلقات صغيرة يجري إطلاقها من فوهات نفاثة.

الإرشاد بوساطة السائق أو الطيار Driver-Pilot Guidance. يجب على كل من الطيار والسائق توجيه مركبته باستمرار لضمان بقائها في مسارها وتلافي اصطدامها بالمركبات الأخرى. وتتوقف سلامة الحركة بشكل كبير على مهارة السائق أو الطيار وتركيزه في أداء مهمته. وفي حالة التجاوز، يجب على كل منهما أن يكون منتبها تماما، وذلك لمنع حدوث الاصطدامات. ويتحمل العنصر البشري المسؤولية الرئيسية لسلامة المركبة. وسنناقش في الجزء الخاص بالتصميم الهندسي الدور الذي يؤديه الاحتكاك الجانبي في إرشاد المركبات على الطرق عند المنحنيات.

الإرشاد بحدود الطرق والممرات المائية Confining Roadway-Waterway Guidance. تحدّد الطرق ومدارج المطارات والقنوات المائية المسار الذي يجب أن يُسلك، . ويسهل، عادة، البقاء في الطريق إلا في حالة العواصف الشديدة، أو وجود ضباب كثيف يحجب الرؤية تماما، أو عندما تضيع معالم الطريق بسبب حركة الرمال أو الثلوج. وفي حالة النقل النهري، يُحكَم اتصال الصنادل مع زورق الجرّ لتكون معا وحدة واحدة متماسكة (الشكل ٢ , ٤). وتقوم زوارق الجرّ، التي تسمى أيضا «الدّفاعات»، بدفع الصنادل بدلا من جرّها وقيادتها نحو الوجهة المطلوبة. إلا أن محاولة سحب مجموعة من هذه السفن عند المنعطفات الحادة قد يؤدي إلى وقوع كارثة وتراكم تلك السفن على ضفاف النهر. والجرّ الفعلي لمجموعة من الصنادل المسطحة بوساطة زورق الجرّ لا يتم اللجوء إليه إلا في المياه المفتوحة، أو في الممرات المائية البحرية بمحاذاة الشاطئ، حيث تقل خطورة الأمواج والتيارات المائية.

الممرات المائية المفتوحة Open Waterways. تفتقر البحيرات والمحيطات والأنهار الواسعة لإمكانية إرشاد السفن تلقائيا. ولكن يجب على ربان السفينة قيادتها باستمرار لضمان بقائها في خط حركتها، ولتلافي الارتطام بالعوائق أو السفن الأخرى. وتتميز الممرات المائية المفتوحة بمرونة مطلقة في اختيار اتجاه الحركة، ولكن لا بد من توافر مرافئ مناسبة لضمان وصول السفن إلى الشاطئ بسلام. ويتم إرشاد السفن خلال العواصف، أو عند تغيير خط السير، أو في المرفأ، أو أماكن أخرى ضيقة بوساطة مدير دفة القيادة في السفينة. أما في السفن الصغيرة جدا، وكذلك في السفن الشراعية القديمة، فيمكن التحكم بإدارة الدفة يدويا أو بحبال تربط عجلة القيادة بالدفة. وفي معظم السفن التجارية الضخمة، توجد عجلة صغيرة تستخدم للتحكم بجهاز للطاقة يقوم فعليا بتحريك الدفة. وعند الإبحار في مياه هادئة، يمكن تسليم مسؤولية الإرشاد للقائد الآلي الذي يقوم بإرشاد السفينة تلقائيا، بعدما



الشكل (٤،٢). مجموعة قطر نهرية (زورق قطر يدفع مقطورة مكونة من ١١ صندلاً محملاً بالفحم وتبلغ قدرة زورق القطر ١٦٠٠ حصان وطوله ٤٠ مترًا).
(Towboat Humphrey with 11-barge coal tow; 1600hp 132-ft towboat built by Dravo Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania, for Consolidated Coal Company)

يتم تحديد خط الإبحار بالبوصلة الدوّارة التي تستخدم لحفظ توازن الباخرة ولتحديد الاتجاه . وتملك السفن الضخمة مرونة كافية في الإرشاد في المياه المفتوحة ، ولكن هذا ينعكس في المرافيء والقنوات المائية الضيقة نظرا لضخـامتهـا ، مما يجعل من الإرشاد مهمة صعبة خصوصا عند وجود تيارات مائية عكسية كالتي تصادف في عدد من المرافيء. وفي مثل تلك الحالات ، يكون استخدام زوارق الإرشاد ضروريا لضمان رسو السفن على الأرصفة وإبحارها خارجها . وفي الظروف الجوية السيئة من عواصف وضباب ، فإن استخدام الاتصالات اللاسلكية بالإضافة إلى قوانين الملاحة التي تحكم ذلك تساعد قبطان السفينة على توجيه سفينته .

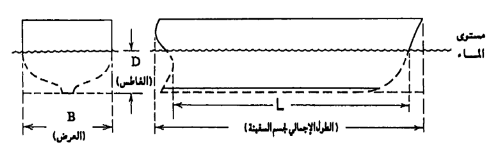
الطرق الجوية Airways. يواجه قائد الطائرة الصعوبات نفسها التي يواجهها قائد السفينة في الممرات المائية المفتوحة ، بالإضافة إلى متطلبات الإرشاد لحركة الطائرة في اتجاهات ثلاثة (وهذه المتطلبات تنطبق ، أيضا ، على حركة الغواصات في الممرات المائية المفتوحة) ، ويقوم الطيار بتحريك الطائرة وإرشادها من غرفة القيادة بوساطة سطوح متحركة مثل الجنيحات والدفة ، كما تستخدم أسطح قابلة للانطواء لزيادة سطح الجناح من أجل الإقلاع أو الهبوط بسرعات أقل من المعتاد . ويمكن قيادة الطائرة وإرشادها آليا باستعمال أجهزة المرشد الآلي ، كما هو الحال في السفن . ولكن يجب أن يتولى الطيار نفسه السيطرة على وسائل الإرشاد خلال الإقلاع والهبوط وفي الأحوال الجوية الرديئة . ولتسهيل إرشاد الطائرة ، تستخدم أشعة لاسلكية (بأنواع مختلفة) تحدد بالصوت والصورة (على الأجهزة الملاحية داخل غرفة القيادة) مسار الطائرة نسبة للخط الجوي المطلوب . وتوفر الطائرة مرونة كبيرة في التوجيه (وإن كانت محكومة بقوانين الملاحة الجوية) ، ولكن يجب توافر مدارج مناسبة الطول لهبوطها . وتتغلب الطائرات العمودية على هذه الصعوبة بدرجة كبيرة ، مما حدا بالباحثين لتطوير نماذج تجريبية للطائرات المعروفة ، لكي تستطيع الإقلاع والهبوط رأسياً ثم تواصل رحلتها في اتجاه أفقي كالمعتاد .

الدعم — الطفو والاستقرار
SUPPORT—BUOYANCY AND STABILITY

إن الدعم الكامل والمستقر لأية مركبة أمر ضروري وحيوي لحركتها وتشغيلها . فالمركبات التي تسير على الأرض تحصل على دعم قوي من أرضيات الطرق والمدارج والسكك الحديدية . وسنبحث أساسيات هذه العوامل مع متطلبات استقرار المركبات في الفصل السادس . أما البواخر والناقلات المائية ، فتحصل على دعمها من خلال الطفو ، كما هو الحال ، أيضا ، بالنسبة للمناطيد الهوائية . وأما الطائرات والمركبات الجوية الأثقل من الهواء فتحصل على الدعم المطلوب من ظاهرة الفرق في ضغوط الهواء . وبالطبع ، فإن استقرار المركبات أيا كان نوعها خلال حركتها أمر ضروري لراحة الركاب وسلامتهم . واستقرار المركبة عامل مهم ، أيضا ، في تصميم أنظمة التعليق في المركبات البرية ، بما في ذلك العجلات والمحاور وهياكل الشاحنات ، وأيضا ، في تصميم الطرق والسكك الحديدية وصيانتها من حيث نعومة سطح الطريق ، ومقدار التعلية الجانبية في المنحنيات .

طفو السفينـة Ship's Buoyancy. تذكر قاعدة أرخميدس (Archimedes' Principle) أن الجسم المغمور في سائل ما يطفو بفعل قوة تكافئ وزن حجم السائل المزاح. ويزن الماء النقي ٦٢,٤ رطل لكل قدم مكعب (١٠٠٠ كغم لكل م٣)، أما الماء المالح فيزن ٦٤ رطلاً لكل قدم مكعب (١٠٢٥ كغم لكل م٣). ويعادل وزن السفينة (بالطن) وزن الماء الذي يزيحه الجزء المغمور منها. وعليه، فإن الحيز المزاح المكافئ لطن من الماء المالح (١ طن = ٢٢٤٠ رطلاً) يساوي ٢٢٤٠ ÷ ٦٤ = ٣٥ قدماً٣ (٠,٩٩ متر٣)، ويعادل الطن من الماء النقي ٢٢٤٠ ÷ ٦٢,٤ = ٣٥,٩ قدماً٣ (١,٠٢ متر٣). ولو افترضنا جسما معينا على شكل متوازي مستطيلات مغمورا في ماء مالح بعمق مغمور قدره (H) وطول الجزء المبلل منه (L) بعرض (B)، فإن وزن الماء المزاح يساوي ($L \times B \times H \div ٣٥$) طنا، أما في الماء النقي فإن وزن الماء المزاح يساوي ($L \times B \times H \div ٣٥,٩$) طنا.

ولكن غاطس السفينة ليس مستطيلا بل انسيابيا لتسهيل حركته، ومقاومة الماء والأمواج. والنسبة بين الحجم الفعلي للجزء المغمور وحجم متوازي المستطيلات (LBH) المقابل له يعرف بالمعامل الحجمي (C_B). وعلى سبيل المثال، فإن قيمة(C_B) يمكن أن تكون قليلة لحد ٠,٥٠ للياخت، أما للصندل، فتتراوح قيمة المعامل (C_B) بين ٠,٨٨ و ٠,٩٥، أما بالنسبة لزورق القطر فتتراوح قيمة (C_B) بين ٠,٥٨ و ٠,٦٨[١]. ولأن قيمة المعامل (C_B) تتغير مع عمق الجزء المغمور من السفينة (وبالتالي، تتغير مع تغير وزن الحمولة والوقود)، يجب الحصول من مصمم السفينة على جدول يبين عمق الغاطس مع كل حمولة معينة. وعلى ذلك، فإن وزن الحيز المزاح من السفينة في المياه المالحة هو [($LBH \times C_B$) ÷ ٣٥]. انظر الشكل (٣,٤).



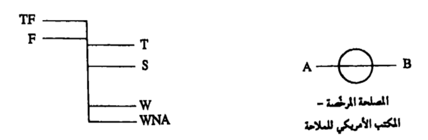
الشكل (٣,٤). المعامل الحجمي.

ويعتمد العمق الآمن للغاطس على عدة عوامل منها الحمولة وطول السفينة وتصميم غاطسها وحجم الأمواج التي ستقابلها السفينة وعمق القناة المائية التي ستبحر فيها. ويتم التعرف على ذلك عن طريق مؤشر خط الحمولة أو خط بليمسول (Plimsoll)، الذي سمي باسم مخترعه البريطاني صامويل بليمسول (Samuel Plimsoll) في عام

---

(١) حسب قول رئيس اتحاد الممرات المائية الأمريكية، فإن المعامل الحجمي (C_B) لا يستخدم عموما، في تصميم معدات الممرات المائية الداخلية بالرغم من صحة هذه العلاقات الرياضية، ويجب ملاحظة أن المعامل الحجمي يرمز له في أمريكا بالرمز C_B وفي أوروبا بالرمز β.

١٨٩٠م . ويبين الشكل (٤ , ٤) رسما نمطيا لخط الحمولة الذي يوضع في منتصف السفينة تماما ، حيث تشير الخطوط الأفقية إلى الحد الذي يمكن للسفينة أن تغطسه قانونياً وبأمن حسب مسار حركتها والموسم السنوي . وتفتش مصلحة خفر السواحل عادة دوريا على مؤشر خط بليمسول للسفن .



TF - مياه مدارية عذبة
F - مياه عذبة
T - مياه مدارية
S - الصيف
W - الشتاء
WNA - الشتاء ، شمال الأطلسي

الشكل (٤,٤). خطوط التحميل.

ويعرّف «الغاطس» بأنه العمق المغمور من السفينة ، في حين يعرّف الجزء غير المغمور «بالسطح الحر» . ويجب أن يشمل عمق القنوات المائية اللازم للتشغيل على مسافة إضافية لتلافي احتكاك الغاطس مع قاع القناة المائية ، حيث إن السفينة أثناء حركتها تواجه ما يسمى بـ «الإقعاء» الذي يتم فيه جذب الرقاص لمؤخرة السفينة إلى الأسفل . كما يجب أخذ ارتفاع الأمواج بالاعتبار ، والذي يجب أن لا يقل عن ٤ أقدام (٢٢ , ١ متر) للقنوات ذوات القيعان الرخوة والموانىء، و٦ أقدام (٨٣ , ١ متر) للقيعان الصخرية . وتتطلب معظم الملاحة في المحيطات وأعالي البحار ما لا يقل عن ٢٦ قدما (٩٣ , ٧ متر) كعمق للقناة المائية ، وبالنسبة للسفن الكبرى فالمطلوب ، عادة ، يتراوح بين ٣٦ و٤٠ قدما (٩٧ , ١٠ و١٩ , ١٢متراً) . أما سفن النفط الضخمة التي تصل حمولتها إلى ثلاثة ملايين برميل من النفط ، فإن العمق المطلوب لها يتراوح بين ٦٠ و٩٠ قدما (٢٩ , ١٨ و٤٣ , ٢٧ مترا) . وأخيرا فإن السفن النهرية تحتاج إلى عمق قناة يتراوح بين ٦ و١٢ قدما (٨٣ , ١ مترا إلى ٦٦ , ٣ متر) .

وبما أن الوزن الفعلي الكلي للسفينة يعتمد على وزن ما بداخلها فإن هناك ثلاثة أوزان تحدد الإزاحة :

الوزن الخفيف: وهو وزن السفينة بدون طاقمها وتجهيزاتها وحمولتها ووقودها وركابها .

الوزن المحمّل: وهو وزن السفينة عند تحميلها للحد الأعلى المسموح به للغاطس.

الوزن الفعلي: وهو وزن السفينة والحمولة في أي وقت خلال رحلتها وهو يتغير مع وزن الوقود والحمولة والركاب على ظهرها.

وتسجل السفن، عادة، بوزنها بالطن، سواء الصافي أو الإجمالي. وتحتفظ السفن في سجلاتها بمنحنيات الإزاحة الخاصة بها التي توضح وزن الإزاحة (وبالتالي، المعامل الحجمي C_B) لأي عمق للغاطس. وبالنسبة للسفن الحربية، فإن الإزاحة تعطى، دائما، بالوزن الفعلي للإزاحة بالطن. ونذكر هنا أربعة أنواع من الأوزان الأخرى المستعملة في أوساط النقل البحري:

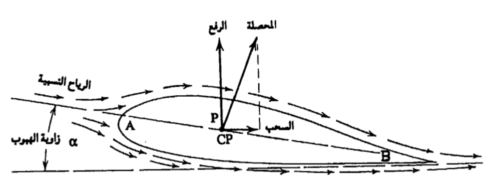
١ - **الوزن الميت:** وهو الوزن الأقصى للوقود والركاب والبضاعة التي يمكن للسفينة حملها عند تحميلها للحد الأعلى للغاطس، ويساوي الفرق بين وزن الإزاحة المحمل والخفيف ويعد هذا الوزن أساسا لحساب أجرة السفينة. وينبغي ملاحظة أن هذا المصطلح (الوزن الميت) يستخدم في سفن البضاعة النهرية (ومركبات النقل البري) ليعني العكس تماما، أي هو وزن السفينة (أو المركبة) وهي فارغة.

٢ - **وزن السفينة الإجمالي:** ويعبر عنه بوحدات الحجم، حيث إنه مبني على فرضية قديمة نادرا ما تستخدم، وهي أن حجما قدره ١٠٠ قدم^{٣} (٢,٨٣ متر^{٣}) يستوعب طنا واحدا من البضاعة. وعليه فإن وزن السفينة الإجمالي يساوي الحجم المقفل للسفينة مقاسا بالقدم المكعب مقسوما على ١٠٠ (أو الحجم المقفل بالمتر المكعب مقسوما على ٢,٨٣).

٣ - **الوزن الصافي:** وهو الوزن الإجمالي الفعلي ناقصا وزن الحيز المخصص لتشغيل السفينة، أي الحيز المخصص للمحركات والوقود ومرافق الطاقم والمستودعات. وعادة ما يشكل حيز التشغيل حوالي ٣٠٪ من إجمالي الحجم المقفل للسفينة.

٤ - **الوزن الطني للبضاعة:** ويمكن التعبير عنه بالأطنان الفعلية أو الحجم (١٠٠ قدم^{٣} لكل طن). ويستخدم الطن الطويل الذي يعادل ٢٢٤٠ رطلاً (١٠١٧ كغم) في معظم الملاحة في المحيطات وأعالي البحار، أما الطن القصير والذي يعادل ٢٠٠٠ رطل (٩٠٨ كغم) فيستخدم في الولايات المتحدة، وفي فرنسا يستخدم الطن المتري الذي يعادل ٢٢٠٤ رطلاً (١٠٠٠ كغم). كما يستخدم طن مكيالي يعادل ٤٠٠ قدم^{٣} (١,١٢ متر^{٣}) في البضائع السائبة الخفيفة الوزن.

دعم الطائرة Aircraft Support. توجد ظاهرة الطفو السابق ذكرها في السفن، أيضا، في المناطيد الهوائية، حيث ينطبق عليها كل من قاعدة أرخميدس وقانون بويل (Boyle's Law). ومع ذلك، فإن الأجسام الطائرة الأثقل من الهواء (مع إغفال الصواريخ) تُدعم أثناء طيرانها بوساطة الضغط الواقع عليها من الوسط الذي تعمل فيه، أي الهواء. وينص قانون برنولي (Bernoulli's Law) على أن ضغط أي جريان سائل يتناسب عكسيا مع سرعة جريانه، أي أن الضغط يكون أقل ما يمكن عند أعلى سرعة، وأعلى ما يمكن عند أقل سرعة. وعند تطبيق هذا القانون على السطح الانسيابي الحامل للطائرة (الجناح)، كما يظهر في الشكل (٥ ,٤)، فإن جريان الهواء فوق الجناح يكون أسرع منه تحت الجناح، لأن المسافة العلوية أطول من السفلية، وبالتالي، يكون الضغط الناشئ فوق الجناح أقل منه تحته. وينتج عن ذلك فرق في الضغط بين الجانب العلوي والجانب السفلي للجناح مما يتسبب في إيجاد قوة رفع أو حمل إلى أعلى.



الشكل (٤,٥). القوى العاملة على سطح انسيابي.

ويمكن تمثيل القوى العاملة على جناح الطائرة بالقوانين التالية التي حُصِل عليها من تجارب معملية بناء على نظرية برنولي:

$$L = C_L(\ell/2)Sv^2$$

$$D = C_D(\ell/2)Sv^2$$

$$R = C_R(\ell/2)Sv^2$$

حيث إن:

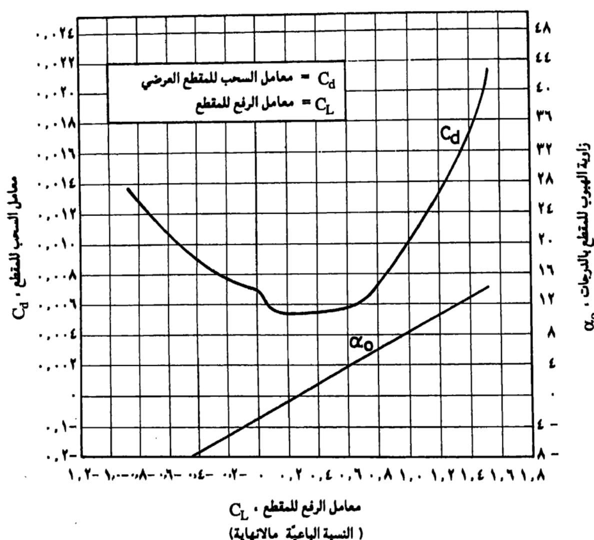
L = قوة الرفع أو الدعم المتعامدة مع اتجاه الرياح النسبية مقاسة بالرطل.

D = قوة المقاومة للسحب الموازية لاتجاه الرياح النسبية مقاسة بالرطل.

R = محصلة القوتين السابقتين بالرطل.

وفي تلك المعادلات، فإن (C_L) هو معامل الرفع، ويساوي النسبة بين قوة الرفع للجناح والضغط الناتج عن تسليط الهواء على سطح مستو له المساحة نفسها. وتتزايد قيمة المعامل للجناح (والجنيحات الإضافية) من صفر إلى ٣ مع زيادة زاوية هبوب الرياح (أي أنها أكبر بثلاثة أضعاف عند ٦ درجات منها عند درجتين). ويوضح

الشكل (٦ , ٤) العلاقة بين معامل الرفع (C_L) ومعامل مقاومة السحب (C_D) وزاوية الهبوب (∝)، لسطح انسيابي حامل شائع الاستعمال. ويمثل المتغير (ℓ) كثافة الهواء، والتي تتغير مع تغير الارتفاع ودرجة الحرارة، وتؤخذ قيمتها عادة ٠٠٢٣٧٨ , ٠ سلق (Slugs) لكل قدم مكعب (٢٩ , ١ كغم/ م³) عند سطح البحر؛ ويمثل المتغير(v) السرعة النسبية بالقدم لكل ثانية (تساوي ٤٧ , ١ × v، حيث v هي السرعة بالميل لكل ساعة)؛ ويمثل المتغير (S) مساحة الجناح بالقدم المربع، شاملة الجنيحات الإضافية المستعملة للإقلاع والهبوط. ويمكن فهم القوى الداعمة للطائرة من خلال المثال التوضيحي التالي.



الشكل (٦ , ٤). خصائص السطح الإنسيابي NACA 64₁ - 412.

(National Advisory Committee for Aeronautics, Report No. 824, p. 165, by Ira H. Abbott, Albert E. Von Doenhoff and Louis S. Stivers, Jr., Langley Memorial Aeronautical Laboratory, Langley Field, Virginia, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.)

مثال توضيحي

تتعرض طائرة نقل خفيفة عند حركتها على الأرض لضغط هواء قدره ١٤,٧ رطل لكل بوصة مربعة على كلا جانبي الأجنحة. وعند حركتها للإقلاع يكون ضغط الهواء فوق الجناح ١٤,٥٢٣ رطل لكل بوصة مربعة، وعلى ذلك، يكون هناك فرق ضغط إلى الأعلى قدره ٠,١٧٧ رطل لكل بوصة مربعة، أو ٢٥,٥ رطل لكل قدم مربع من مساحة الجناح. فإذا كانت مساحة الجناح الفعالة تساوي ٩٨٧ قدما مربعا، فإن الضغط الكلي للأعلى الواقع على سطح الجناح السفلي يصبح ٩٨٧ × ٢٥,٥ = ٢٥١٦٩ رطلا (١١٤٢٧ كغم).

وينتج عن محصلة القوى (R) عزوم حول الحافة الأمامية للجناح. ويمكن اعتبار الضغوط الحاملة للجناح من أسفل مركزة في نقطة تسمى «مركز الضغط» أو «مركز الرفع»، وتقع على طول الوتر الموصل بين مقدمة الجناح ومؤخرته، ويتغير موقع هذه النقطة بتغير زاوية الهبوب. وعندما يزيد العزم الناتج عن قوة الرفع، أو المحصلة، فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع الحافة الأمامية (وبالتالي، زيادة زاوية الهبوب) مما يزيد من احتمال الانهيار، أو عدم قدرة الجناح على أداء وظيفته. وبالمقابل، إذا ما أدت العزوم إلى انخفاض الحافة الأمامية للجناح وتقليل زاوية الهبوب، فإن ذلك يزيد من احتمال السقوط، ويوضح الشكل (٦,٤) قيم معامل الرفع (C_L) وكذلك معامل مقاومة السحب (C_D) لمختلف زوايا الهبوب (∝) وذلك لنوع معين من الأجنحة. وسنشرح لاحقاً في هذا الفصل هذه العوامل والمصطلحات شرْحاً أوسع.

ويؤدي الجريان السلس للهواء على السطح العلوي للجناح إلى تقليل الضغط عليه، والذي عادة ما يحدث عندما تكون زاوية الهبوب صغيرة. ويستمر الجريان السلس للهواء مع زيادة زاوية الهبوب (∝) حتى تصل إلى ما يعرف بزاوية «الخرير» حيث ينفلت جريان الهواء من السطح العلوي قرب الحافة الخلفية للجناح ويبدأ بالدوران ليشكل دوّامة. وعندها يقل الدعم عند الحافة الخلفية للجناح ويتحرك مركز الضغط نحو مقدمة الجناح مما يسبب نزول مؤخرة الجناح نزولا أكبر يقود إلى الانهيار. وتتغير زاوية الخرير أو الانهيار مع تغير شكل الجناح (وكذلك مع تغير السرعة)، ولكن قيمتها تتراوح بين ١٦ و٢٠ درجة لمعظم الأجنحة. ويقلل وجود فتحات في الحافة الأمامية للجناح من زاوية الانهيار كما يقلل من احتمال الوقوع في حركة حلزونية.

وتزيد قوة الرفع مع مربع السرعة، ولكن النقطة الحرجة تحدث عند السرعات المنخفضة في الإقلاع أو الهبوط، ولذا، تقوم مصلحة الطيران المدني بتحديد سرعة الانهيار الدنيا عند الاقتراب من المدرج للأنواع المختلفة من الطائرات. ويلزم وجود مدرج طويل في المطارات الحديثة لاستقبال الطائرات الضخمة. ويتم الحصول على زيادة في قوة الرفع عند السرعات المنخفضة عن طريق استخدام الجنيحات الإضافية القابلة للانطواء التي تزيد من مساحة الجناح عند الإقلاع والهبوط، والتي يمكن طويها فيما بعد لتقليل المقاومة عند سير الطائرة في رحلتها الجوية. وتستطيع الطائرات النفاثة الوصول إلى سرعات أعلى في زمن أقل، والإقلاع من مسافات أقصر. وعندما تهبط الطائرة يمكن عكس حركة الرفاص لكي يعمل ككابح للحركة (وبالتالي، يقلل من طول المدرج اللازم لوقوف الطائرة).

وتتغير قدرة الرفع للطائرة مع تحميل الأجنحة، ومع تحميل الطاقة، ويُعرّف تحميل الأجنحة بحاصل قسمة الوزن الإجمالي للطائرة (بالرطل) على إجمالي مساحة الأجنحة (بالقدم المربع)، بينما يعرّف تحميل الطاقة بأنه الوزن الإجمالي مقسوما على إجمالي قدرة الأحصنة. ويعطي حاصل ضرب تحميل الأجنحة في تحميل الطاقة مؤشرا يستخدم، عادة، لتصنيف الطائرات وتصميم المدارج. ويجب أن تكون الطائرة في حركة دائمة لتحافظ على طيرانها.

وبالنسبة للطيران الأسرع من الصوت، يلزم إجراء بعض التعديلات على ما سبق ذكره. إذ من المعروف أن الصوت يسير بسرعة ٧٦٠ ميلاً في الساعة (١٢٢٢,٨ كم/ ساعة) عند مستوى سطح البحر وعند درجة حرارة ٥٩ درجة فهرنهايت (١٥ درجة مئوية)، وتقل سرعته مع زيادة الارتفاع عن سطح البحر، وكذلك مع النقص في درجة الحرارة. وفي حالة السرعات الأقل من سرعة الصوت، فإن موجات الصوت والضغط التي أمام الطائرة تعمل على تنظيم جزيئات الهواء بحيث تسمح لمرور الطائرة عبرها بسلاسة نوعا ما. أما في السرعات المساوية لسرعة الصوت، حيث يكون جريان الهواء حول جزء من الطائرة قريبا من سرعة الصوت، وكذلك في السرعات الأعلى من سرعة الصوت، فتكون جزيئات الهواء غير مرتّبة مسبقا، بل تتدافع باضطراب لتشكل موجة ارتجاجية أمام مقدمة الطائرة، ولها شكلها نفسه، وربما لا يزيد سمكها على عشرة أجزاء في الألف من البوصة. ويحدث خلف الموجة الارتجاجية نوع من الجريان الأقل من سرعة الصوت والمضطرب. كما يفقد جزء من الطاقة نتيجة الحرارة والاحتكاك يتراوح بين ٥ و ١٠٪، مما يتطلب زيادة في قدرة الأحصنة للمحرك. والفقد الناشئ لقوة الرفع والاضطراب والصعوبة في شق الطريق، يسبب صعوبات في التحكم بالطائرة، وربما سبّبت ضررا لهيكل الطائرة.

ويتلافى التصميم المثالي للجناح نطاق سرعة الصوت بالمحافظة على سرعة جريان الهواء تحت سرعة الصوت حتى تصل إلى «ماخ» واحد (Mach). ورقم ماخ يمثل النسبة بين سرعة الهواء الفعلية إلى سرعة الصوت. والسرعات الأقل من الصوت هي التي يقل رقم ماخ لها عن ٠,٧٥، بينما يتراوح رقم ماخ للسرعات المعادلة لسرعة الصوت بين ٠,٧٥ و ١,٢٠، أما السرعات الخارقة للصوت فيتراوح رقم ماخ لها بين١,٢ و ٥,٠ أو أكثر. ويكون الجناح المثالي رقيقا ولكن بسمك كاف لإعطائه قوة هيكلية والسماح له بحمل أجهزة تساعد على زيادة مساحة الجناح من أجل الإقلاع والهبوط بسرعة آمنة. وتعد عناصر استدقاق طرف الجناح، والنسبة الباعيّة له (وهي نسبة مربع أقصى امتداد للجناح إلى مساحته الإجمالية) والامتداد التراجعي للجناح عناصر تصميمية مهمة. وتزيد الأجنحة المتراجعة من قيمة رقم ماخ الحرجة (حيث يتم الوصول إلى ماخ واحد في نقطة ما على الجناح). وتقل قيمة معامل مقاومة السحب مع زيادة زاوية التراجع، ولكن التراجع للأجنحة يسبب مشكلات في التحكم الجانبي والانهيار الطرفي وتحرك مركز الضغط إلى الأمام والحاجة لسرعات هبوط أعلى. وتشمل الحلول مقايضة بين زاوية التراجع واستخدام أجنحة متحركة، بحيث يمكن زيادة زاوية التراجع أثناء الرحلة. وتحدث الموجة الارتجاجية للطائرات الأسرع من الصوت انفجارا صوتيا مما قد يتسبب في مشاكل بيئية ضارة. حيث يمكن أن تحدث أضرارا أنشائية في المنشئات الأرضية، وتخيف الناس والحيوانات، كما أنها تستهلك كميات كبيرة من الوقود نتيجة المتطلبات العالية لقدرة الأحصنة. ولهذه الأسباب، فإن الطيران الأسرع من الصوت أصبح مقصورا بشكل كبير على الطائرات

العسكرية والتجريبية. وقد ظهرت معارضة كبيرة لتطوير طائرات نقل خارقة للصوت، كما ألغى الكونجرس الأمريكي تمويل أبحاث لتطوير طائرة أمريكية تتسع لـ ٢٩٨ راكبا وتسير بسرعة ١٨٠٠ ميل/ ساعة (٢٨٩٦ كم/ ساعة). في حين صممت الطائرة الروسية تيوبوليف (TU-144) لتتسع لـ ١٣٠ راكبا وتسير بسرعة ١٥٥٠ ميلاً/ ساعة (٢٤٩٤,٢ كم/ ساعة)، أما طائرة الكونكورد الإنجليزية الفرنسية المشتركة فلها السعة المقعدية نفسها وتسير بسرعة ١٣٣٦ ميلاً/ ساعة (٢١٥٠ كم/ ساعة). وحتى عندما تكون مثل هذه الطائرات مجدية للنقل التجاري، فإنها ستخضع لقيود شديدة في التشغيل من حيث المسارات التي تسلكها والسرعة المسموح بها فوق المناطق المأهولة.

نظم الدعم بالسوائل Fluid Support Systems. يتطلب التفاعل الديناميكي بين الطريق والمركبة وجود طريق أملس لتقليل الاهتزازات والتأرجح والارتجاجات إلى أقل حد ممكن، وكذلك لراحة وسلامة الركاب والبضائع. وبما أن التأثيرات الديناميكية تزداد مع السرعة، فإن معيار نعومة الطريق يصبح أكثر ضرورة مع زيادة السرعة، ولكن تكاليف الإنشاء والصيانة المترتبة على ذلك باهظة. كما تبرز عدة مشاكل في أنظمة التعليق وديناميكية التلامس وظاهرة اهتراء العجلات، سواء كانت حديدية أو مطاطية، عند السرعات العالية. ويمكن أن تكون هذه العوامل عوامل مُقيِّدة. ومن الثابت أن الحدود العملية للتقنية الحالية لأنظمة التلامس في الطرق هي بحدود ٢٠٠ إلى ٢٥٠ ميلاً/ ساعة (٣٢٢ إلى ٤٠٢ كم/ ساعة).

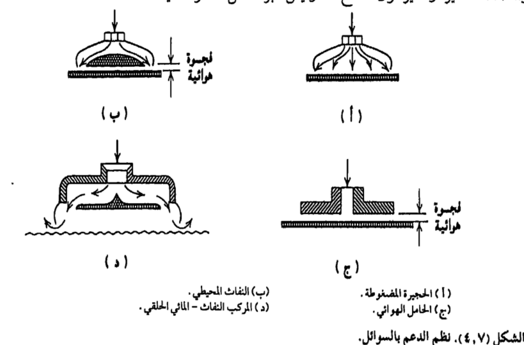
ويستخدم أحد البدائل لذلك نظام دعم بالسوائل، يعتمد على إيجاد جيب أو وسادة من الهواء تحت سطح المركبة أو مجموعة من الوسائد الرافعة. ويُحكم إغلاق الجيب الهوائي ضمن الوسادة بوساطة سائل، أو وسائل ميكانيكية. كما يتطلب ذلك وجود سطح أفقي ثابت كطريق، ولكن، عندما لا يكون هناك تلامس بين هذا السطح (الطريق) والمركبة فإنه يمكن السماح بدرجة أقل من الدقة في انتظام سطح الطريق، وتعتمد درجة الدقة هذه على الخلوص بين المركبة والطريق الذي يمكن أن ينشأ عن ثلاثة أنواع مختلفة من نظم الدعم بالسوائل نستعرضها فيما يلي.

يمكن تمثيل فكرة التصميم بخلوص قليل باستخدام «حذاء» يحيط بقضيب السكة الحديدية وينزلق فوقه ويفصل بينهما وسط داعم يمكن أن يكون زيت التشحيم المعروف، أو طبقة رقيقة من الهواء بسمك حوالي ٠,٠٠١ بوصة (٠,٠٠٢٥٤ سم)، توضع من خلال فتحات في الحذاء بقوة ضغط عالية. انظر الشكل (٧,٤).

وفي المقابل، تحافظ أنظمة الضغط المتوسط والتي تعرف «بمعدات التأثيرات الأرضية» والمركبات التي تسير على وسادات هوائية، على خلوص يتراوح بين حوالي ٠,٠١ و ٠,٠٥ بوصة (٠,٠٢٥٤ إلى ٠,١٢٧ سم)، كما هو الحال في القطار الفرنسي إيروترين، وبين ٣ و ٤ أقدام (٠,٩١ إلى ١,٢٢ متر) للحوّامات البرمائية. وتشكل الحواف المصنوعة من القماش الثقيل والمثبتة في أسفل المركبة أو في الوسائد الداعمة الجيب الهوائي المغلق حيث يكون الضغط داخله متوسطا إذ يصل إلى ٢٥ جم لكل سم٢، مثلاً، كما في القطار الفرنسي إيروترين.

ويحتاج الحذاء المنزلق كميات قليلة من الهواء تحت ضغط عال، فيما يستخدم نظام التأثيرات الأرضية كميات كبيرة في الضغوط المنخفضة. ويمكن أن تشتمل الأنظمة المستقبلية لمعدات التأثيرات الأرضية على عجلات لتغيير الاتجاه والوقوف في المحطات والحركات الأخرى عند السرعات المنخفضة. وقد استخدمت

الحوامات البرمائية استخداماً تجارياً كبيراً في بريطانيا، بما في ذلك عبور القنال الإنجليزي. أما فكرة الإيروترين التي نشأت في فرنسا، فتخضع للأبحاث والتطوير في الولايات المتحدة الأمريكية. وهناك نوع ثالث من الدعم الأيروديناميكي وهو الذي يستخدم الضغط المنخفض والخلوص الكبير كما هو مطبق في ألسنة المحرك النفاث الدوار، أو تأثير الأجنحة في الأرض، والتي لم تحظ بتطبيق عملي في المركبات. وهذه الأجهزة مرتبطة بالأرض ولكنها تحتاج إلى حد أدنى من الدقة في الطريق. وعمليا، فقد اقتصر تطبيق هذا المفهوم على المركبات المائية والمصممة لتسير أو تطير فوق سطح الماء وليس عبره، مثل الطائرة المائية.



(أ) الحجيرة المضغوطة. (ب) النفاث المحيطي.
(ج) الحامل الهوائي. (د) المركب النفاث - المائي الحلقي.

الشكل (٤,٧). نظم الدعم بالسوائل.

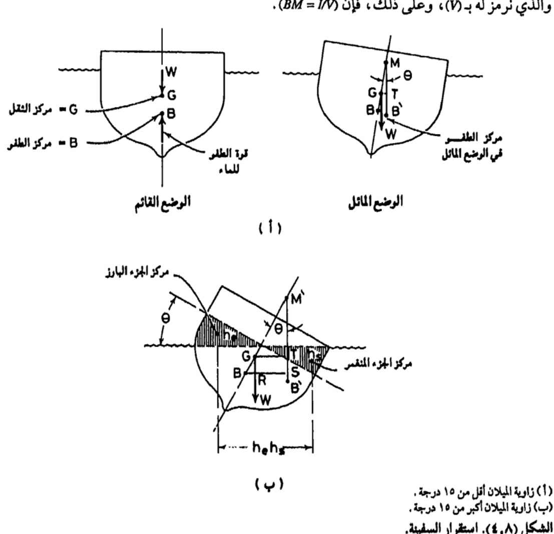
وهناك نظام مختلف تماما هو نظام (ماجليف)، أو المركبة التي تسير وسط وسادة مغناطيسية، والذي تُرفع فيه المركبة فوق طريق حديدي عن طريق التنافر المغناطيسي. وكطريقة بديلة، يمكن تعليق المركبة فوق الطريق بقوة الجذب المغناطيسي المسلطة من فوقه. ويمكن استخدام مولدات الحث الخطية للدفع في كلا النظامين. وتتصف هذه الأنظمة بخط حديدي مركزي للتوجيه، وخلوص قريب نسبيا، مما يتطلب الدقة في تصميم الطريق وصيانتها.

استقرار السفن Ship Stability. يعرّف الاستقرار بأنه قدرة السفينة على البقاء في وضع قائم معتدل حول محورها، والرجوع إلى هذا الوضع عند إمالتها بوساطة قوة خارجية مثل قوة الأمواج. وعندما تكون السفينة في وضع متوازن يكون سطحها العلوي أفقيا ويكون مركز الثقل (*G*)، ومركز الطفو (*B*)، على الخط الرأسي المحوري للسفينة نفسها، كما في الشكل (٤,٨). وعند إزاحة السفينة عن هذا الوضع، فإنها تعود إلى وضعها الأصلي المتزن لو كانت سفينة مستقرة. فلو تمعنّا في القطاع العرضي للسفينة في الشكل (٤,٨)، فإننا سنرى أن مركز الطفو (*B*) في

الوضع القائم ينزاح إلى النقطة ('B)، وبمد خط اتجاه الطفو الرأسي من هذه النقطة، فإنه يتقابل مع محور السفينة في النقطة (M) . وتنشأ عزوم قوى تحاول تعديل السفينة، وذلك للتغلب على العزوم التي تحاول إمالتها من أجل استقرار السفينة على النحو التالي:

$$W \times GT = W \times GM \sin\theta$$

حيث (W) هو وزن السفينة، مقاسا بالأطنان المزاحة، والمقدار ($GT = GM \sin\theta$) هو ذراع العزم للقوة المعدلة للوضع، مقاسا بالقدم. وتمثل النقطة (M) مركز ثقل الجزء غير المغمور للسفينة، أو ما يسمى بالمركز البيني العرضي، وهي تقريبا ثابتة الموقع لدرجات الإمالة الصغيرة (التي تصل إلى ١٥ درجة). وتعرف المسافة (GM) بالارتفاع البيني، فيما تساوي المسافة بين مركز الطفو والمركز البيني المقدار (BM)، والذي هو بدوره حاصل قسمة عزم القصور الذاتي لحركة السطح المائي المزاح حول محور الدوران، والذي نرمز له بـ(I) ، على حجم الإزاحة بالقدم المكعب، والذي نرمز له بـ(V)، وعلى ذلك، فإن ($BM = I/V$).



(أ) زاوية الميلان أقل من ١٥ درجة.
(ب) زاوية الميلان أكبر من ١٥ درجة.

الشكل (٤،٨). استقرار السفينة.

ويمكن حساب موقع كل من مركز الثقل ومركز الطفو بمعرفة مواقع العناصر المكونة للسفينة وأوزانها وحمولتها. وهذان الموقعان يختلفان باختلاف أوزان الحمولة والوقود والصابورة (ثقل الموازنة) وتوزيعها في السفينة. وتتراوح قيمة الارتفاع البيني النمطية لزوارق القطر بين قدم واحد وقدمين (٣٤, ٠ متر إلى ٦٨, ٠ متر)، وقدمين لسفن البضائع (٦٨, ٠ متر)، وحتى ٥ أقدام (٧, ١ متر) للسفن الحربية.

وعندما تزيد درجة الإمالة على ١٥ درجة، فإن المركز البيني (النقطة M) لا يبقى ثابتا بل ينتقل إلى النقطة (M') كما في الشكل (٨, ٤)، ولا توجد معادلة رياضية سهلة لحساب قيمة الارتفاع البيني (BM')، ولكن هناك طريقة تتبع، عادة، لذلك، تستخدم معادلة أتوود Atwood المطورة نحو عام ١٧٩٥م، وتتلخص هذه الطريقة فيما يلي (انظر الشكل ٨, ٤).

إذا رمزنا للحجم الكلي المغمور بالرمز (V) قدم مكعب، وحجم الجزء الإضافي الذي ينغمر أو يبرز بفعل الميلان بالرمز (v) قدم مكعب، والمسافة الأفقية بين مركز ثقل الجزء المنغمر (g_e) ومركز ثقل الجزء البارز (g_s) بالرمز ($h_e h_s$) قدم، فإن العزم الذي يسعى لتعديل وضع السفينة يساوي ($W \times GT$) طن-قدم، حيث يساوي ذراع العزم للقوة المعدلة للوضع الكمية التالية ($GT = BS - BR = BS - BG \sin\theta$)، كما تساوي الإزاحة الأفقية لمركز الطفو إلى النقطة (B') المسافة (BS). ويتم معادلة الزيادة في الحجم المزاح نتيجة الجزء الإضافي المغمور بقوة طفو مركزها النقطة (B')، وذلك بأخذ العزوم كالتالي ($BS \times V = v \times h_e h_s$) وعليه، فإن $BS = \frac{v\, h_e h_s}{V}$، وبذلك يصبح عزم التعديل

$$W \times GT = W\left(v\frac{h_e h_s}{V} - BG\sin\theta\right)$$

ومن هذه العلاقة، يمكن حساب قيمة (GT) ثم حساب قيمة المسافة (GM').

ويمكن أن يتسبب التحميل غير المستقر للسفينة بإزاحة خطيرة لمركز الثقل، ويشمل ذلك التحميل الزائد عن المسموح، وسوء توزيع البضائع في مخازن السفينة وعلى سطحها، وكذلك التوزيع السيء للصابورة في الصهاريج الخاصة بها. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يحدث ذلك عندما تفرغ البضائع من المخازن السفلية للسفينة مع ترك بضائع ثقيلة على السطح. وتستعمل صهاريج الصابورة للمساعدة على إبقاء السفينة مستقرة، وذلك بإضافة المياه أو تفريغها من الصهاريج للتعويض عن النقص أو الزيادة في الحمولة من البضائع. ويجب الحرص عند تحميل السفينة وتفريغها على تجنب حدوث عدم استقرار للسفينة، وأن لا يتم الابتعاد كثيرا عن وضع التوازن. ويقصد بالتغير في التوازن الإزاحة النسبية للمحور الطولي للسفينة عند مقدمتها ومؤخرتها. ويتوزع ثقل البضائع بانتظام عند تحميلها كما يزول بانتظام عند تفريغها، ولذا، يجب على المتخصصين في ذلك الاهتمام بإعداد خطة التحميل مسبقا بحيث يسهل تفريغ البضائع في الموانئ المختلفة حسب تسلسل خط سير السفينة. كما يجب الحرص على أن يكون مركز الثقل للسفينة منخفضا قدر الإمكان، وذلك بوضع البضائع الثقيلة أسفل السفينة بغض النظر عن الترتيب في التفريغ لاحقا. أما في حالة سفن البضائع السائبة، فليس مستحسنا خفض مركز الثقل لأن ذلك يساهم في عدم استقرار السفينة نتيجة التسبب في اندفاعها السريع للأمام.

ولا يتمتع المركز البيني الطولي للسفينة بالأهمية التي يحظى بها المركز البيني العرضي في معظم السفن، إلا أن طريقة تحديده وحساب موقعه شبيهة بتلك الخاصة بالمركز البيني العرضي السابق ذكرها.

استقرار الطائرة Aircraft Stability. يمكن القول بأن القوى التي تحافظ على الطائرة في الهواء شبيهة تقريبا بتلك التي تؤثر على استقرار السفينة. ويعرف استقرار الطائرة بأنه القدرة على الطيران في خط مستقيم والمحافظة على الوضع الجسمي للطائرة نفسها بالنسبة للرياح النسبية والعودة إلى هذا الوضع عند إمالتها بقوى خارجية. ويتفاوت توزيع الضغط والقوى الفراغية التي تؤثر على الجناح مع تفاوت زاوية الهبوب، انظر الشكل (٤-٥). ويماثل مركز الضغط أو الرفع في الطائرة، حيث تتركز هذه القوى، مركز الطفو في السفينة. وكلما زادت زاوية الهبوب تقدم مركز الضغط إلى الأمام، وكلما قلّت تأخر مركز الضغط إلى الخلف. ويترتب على ذلك أن موقع محصلة القوى يتغير مع تغير زاوية الهبوب. وكما هو معلوم، فإن قوة الرفع تكون دائما متعامدة مع اتجاه الرياح النسبية.

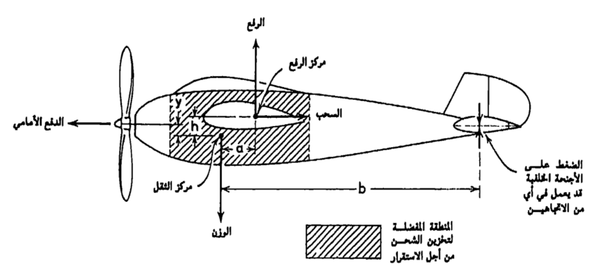
ولا تتمتع الطائرة بالاستقرار إلا عندما تكون القوى العاملة عليها في اتزان، أي عندما يكون مجموع القوى الرأسية (V)، ومجموع القوى الأفقية (H)، ومجموع العزوم حول أي نقطة (M)، مساويا للصفر (أي $\Sigma V = 0, \Sigma H = 0, \Sigma M = 0$). وفي حالة الطيران الأفقي، فإن القوى العاملة تشمل قوة دفع المحركات (باتجاه الأمام)، وقوة مقاومة السحب (باتجاه الخلف)، وقوة الرفع (إلى أعلى)، والقوة العاملة على ذيل الطائرة والتي يمكن أن تكون إلى الأعلى أو إلى الأسفل.

ويجب أن تتمتع الطائرة بالاستقرار في ثلاثة محاور للحركة. فالاستقرار الطولي يتمثل في تأرجح الطائرة حول محورها العرضي، وفي العلاقة بين مركز الضغط ومركز الثقل. ولا يوجد تغير في موقع مركز الثقل على المحور الطولي (حيث يفترض أن تتركز كتلة الطائرة)، ولكن موقع مركز الرفع يتفاوت حسب السرعة وزاوية الهبوب.

وعند تحرك مركز الضغط إلى الأمام، ينتج عن محصلة القوى على الأجنحة عزوم دوران حول الذيل (انظر الشكل ٩ , ٤)، مما يؤدي إلى ارتفاع الحافة الأمامية للجناح وزيادة زاوية الهبوب أكثر، وبالتالي، زيادة احتمال الانهيار. ويعتمد استقرار الطائرة على موقع مركز الثقل بالنسبة لمركز الرفع، إذ يجب أن يكون مركز الثقل في موقع متقدم عن مركز الضغط أو الرفع المتولد عن السرعة المحددة للرحلة، وذلك لضمان توليد عزوم عكسية تقلل من تأثير قوة الرفع في مركز الضغط، وعزوم الدوران المتولدة عنها حول الذيل. وتساعد الأسطح الأفقية للذيل على استقرار الطائرة بتقليل التأرجح، والمحافظة على موقع مركز الضغط خلف موقع مركز الثقل.

وبجمع العزوم حول مركز الثقل في اتجاه عكس عقارب الساعة (انظر الشكل٩ , ٤)، نحصل على المعادلة التالية:

[قوة الدفع × (y) – مقاومة السحب × (h) + قوة الرفع × (a) ± قوة الذيل × (b) = صفر]



الشكل (٤،٩). استقرار الطائرة أثناء التحليق أفقيا.

وعادة ما تكون القوة العاملة على الذيل في الطائرة الأحادية السطح والمرتفعة الجناح، موجبة الاتجاه (إلى الأسفل) بسبب الدفع السفلي للهواء بوساطة الجناح. وإذا ما قلّت زاوية الهبوب، بسبب الريح العاصفة أثناء تحليق الطائرة في وضع مستقر، فإن قوة الرفع تقل ويتحرك مركز الرفع باتجاه الخلف (مما يقلل زاوية الهبوب أكثر). ولكن الضغط للأسفل على الأسطح الرافعة في الذيل يزداد مما يولد عزوم تحاول إعادة الطائرة لوضعها المستقر. وبالعكس، فإن القوى العاملة على الذيل في الطائرة المنخفضة الجناح تكون سالبة (إلى الأعلى). ويمكن تعزيز القوى العاملة على الذيل إلى الأعلى أو إلى الأسفل عن طريق رفع الأسطح الرافعة الموجودة في الطرف الخلفي للذيل أو خفضها.

وعند تصميم طائرة للقيام بخدمات الشحن الجوي، يجب الحرص على الأخذ بالاعتبار العلاقة بين موقعي مركز الرفع ومركز الثقل للطائرة. إذ من المطلوب وجود حد أدنى من الإزاحة لمركز الرفع حيث إن كل وحدة من الوزن تعمل على توليد عزوم، بحسب موقعها وطول ذراع العزم، وذلك لصد عزوم قوة الرفع أو تعزيزها. وعليه، فإن الوزن المركّز في ذيل الطائرة يكون هو الأسوأ ضررا، نظرا لطول أذرع العزم له. وفي المقابل، فإن المساحة المحيطة بمركز الضغط تتطلب أدنى قدر من تخطيط توزيع الوزن نظرا لقصر أذرع العزم فيها. والصعوبات التي تواجه في التوزيع الصحيح للوزن أثناء تحميل طائرة الشحن وتفريغها شبيهة بتلك الخاصة بالسفينة.

وفي حالة التغيرات في الاستقرار العرضي للطائرة، فإن مركز الثقل لا يبقى ثابتا في المستوى الرأسي نفسه. وتشمل الحركة العرضية التمايل حول المحور الطولي للطائرة والانزلاق الجانبي لها. ويتسبب حدوث كل من تمايل الطائرة حول محورها الطولي، وانعراجها (انحرافها عن الخط المستقيم) في حدوث الآخر، كما أن انزلاق الطائرة جانبيا يتسبب في حدوث التمايل والانعراج كليهما، إذ تنحرف الطائرة في اتجاه انزلاقها. وتساعد الزعنفة الرأسية المحتوية على الدقة والمثبتة في مجموعة الذيل على الاستقرار العرضي للطائرة. ونظرا للتناظر العرضي

حول المحور الطولي للطائرة، فإنه يمكن تحقيق التوازن العرضي بالتوزيع المتناظر للوزن على جانبي المحور الطولي. ويجب أخذ ذلك في الاعتبار عند القيام بعمليات تحميل طائرات الشحن الجوي. كما أن تصميم الأجنحة تصميما مائلاً لتكوّن زاوية سطحية مع جسم الطائرة يساعد على زيادة الاستقرار الجانبي.

تـأثيرات المقـاومـة علـى النقـل
EFFECTS OF RESISTANCE ON TRANSPORT

سيركز البحث هنا على الخصائص الذاتية لوسائط النقل التي تؤثر كثيرا على تكلفة التشغيل. وبالطبع، فإن مقدار مقاومة الحركة إلى الأمام لأية واسطة نقل تاثيراً كبيراً على التكاليف التشغيلية لهذه الواسطة.

مقاومة قوة الدفع Propulsive Resistance: استنادا إلى قوانين نيوتن (Newton's Laws) مع إهمال الاحتكاك والجاذبية، فإن المركبة بحمولتها تبقى في حالتها الساكنة أو المتحركة ما لم تسلط عليها قوى خارجية تغير هذه الحالة. والواقع أن هناك قوى مقاومة كثيرة تعمل على إعاقة حركة وسائل النقل المختلفة من قطارات وشاحنات وسفن وطائرات. ومصدر قوى المقاومة هذه هو الاحتكاك بين الأجزاء المتحركة لوسيلة النقل نفسها والمقاومة الناتجة عن ضغوط الهواء أو الرياح أو الأمواج والإهتزازات والجريان المضطرب والتأرجح والموجات الارتدادية. كما أن محاولة التخلص من تأثير الجاذبية، وخاصة عند الصعود أو الهبوط، تشكل نوعا من المقاومة. وكلما زادت السرعة زادت الحاجة إلى قوة دفع إضافية للتغلب على هذه المقاومات بأشكالها المختلفة. وبسبب ذلك، يمكن اعتبار التسارع، أيضا، نوعا من المقاومة. وبالطبع، فإن قوة هذه المقاومات مجتمعة تتفاوت بتفاوت وزن المركبة وحمولتها وسرعتها. وعلى أية حال، فإن قوة الدفع الكلية لأية مركبة يجب أن تتغلب على هذه المقاومات.

وهناك تشابه كبير بين أنواع المقاومة، من حيث مسبباتها وتأثيراتها، بغض النظر عن مسمياتها أو الوحدات المستعملة لقياسها. ففي النقل بالسكك الحديدية، نستعمل اسم مقاومة «الدفع» أو مقاومة «القطار»، ووحداته هي المقاومة الإجمالية بالرطل (أو الكغم)، أو بالرطل (كغم) لكل عربة، أو بالرطل (كغم) لكل طن من الوزن. وهذه الأخيرة تتناقص بزيادة وزن المركبة. أما بالنسبة للمركبات التي تسير على الطرق، فإن هذه القوة العكسية تسمى أحيانا بمقاومة «حواف الإطارات». وتقاس مقاومة الاحتكاك السطحي في النقل المائي بالرطل (كغم) أيضا، وكذلك الحال في مقاومة السحب التي تمثل مجموع القوى المقاومة لحركة الطائرة في الجو. ويتعرض الجريان داخل خطوط الأنابيب لمقاومة تقاس، عادة، بالرطل لكل بوصة مربعة (كغم/ كم٢)، أو بارتفاع عمود الضغط بالقدم (متر)، ولكن المقاومة الإجمالية تقاس بالرطل (كغم). كما يمكن التعبير عن مقاومة الاحتكاك ومقاومة الميل في السيور المتحركة باستخدام وحدات قياس مشابهة. كما يمكن، أيضا، التعبير عن جميع هذه المقاومات بوحدات ارتفاع عمود ضغط المقاومة، وكذلك بوحدات المقاومة المكافئة للحركة في مسار مستو ومستقيم. أما المركبات التي تعتمد على دعم الهواء، مثل معدات التأثير الأرضية ومركبات الوسادة الهوائية، فلا تتعرض للاحتكاك بسطح الطريق، ولكنها تواجه بمقاومة الهواء الطبيعية. وتوجد مجموعة من العلاقات الأساسية بين

سعة وسيلة النقل والقدرة الدافعة أو المحركة لها ومقاومتها للحركة، وذلك لجميع وسائط النقل. وفي جميع الحالات، فإن النتيجة الأساسية لمقاومة الحركة هي تخفيض السرعة أو القوة المتوافرة لدفع المركبة وتحريكها مع حمولتها. ومن وجهة نظر النقل، فإن المجهود الذي يبذل للتغلب على قوى المقاومة التي تعمل ضد الوزن الفارغ للمركبة هو مجهود ضائع، إذ لا يُنتفع به لتحريك البضائع والركاب في المركبة. ومع هذا، فإن خسارة هذا المجهود هو من طبيعة كل نظام للنقل، ولكن بدرجات متفاوتة. وتشمل مقاييس كفاءة أداء نظام النقل عدد وحدات قوة المقاومة، بالرطل (كغم) لكل طن من الوزن الإجمالي أو من الوزن الصافي للحمولة والنسبة بينهما. وهناك معيار آخر يرتبط مباشرة بذلك وهو عدد الأحصنة للطن الواحد من الوزن الإجمالي أو الوزن الصافي للحمولة. وسنبحث هذه الجوانب لاحقا.

مقاومة الجر والطريق Tractive and Road Resistance: تتعرض المركبة المتحركة على سكة أو طريق مستقيمة ومستوية، في هواء ساكن، بسرعة ثابتة، لمقاومة يجب التغلب عليها بوساطة قوة الجر للجرار أو الشاحنة أو محرك السيارة. وتتألف هذه المقاومات من الآتي:

١ - الاحتكاك بين العجلات والسكة الحديد بة، أو بين الإطارات وسطح الطريق، وهي ربما تكون كمية ثابتة لنوع معين من الأسطح، ولكنها قد تختلف باختلاف السطح ونوعيته خصوصا في أسطح الطرق.

٢ - الاحتكاك بسبب ضغط وزن المركبة على هيكلها السفلي ومحاورها. وهذا يختلف باختلاف وزن المركبة وحمولتها ونوع الهيكل.

٣ - الفقد الناتج عن الاهتزاز والتأرجح وتخفيف الصدمات، بالإضافة إلى احتكاك شفة العجلات في السكك الحديدية، ووجود مطبات وعوائق في حالة الطرق الوعرة. ويتفاوت هذا الفقد بتفاوت سرعة المركبة.

٤ - مقاومة الهواء التي تعتمد مباشرة على مساحة مقطع المركبة وطولها وانسيابية شكلها، كما تعتمد هذه المقاومة على مربع سرعة المركبة.

وعادة ما يستعمل مهندسو السكك الحديدية والنقل العام السريع معادلة ديفس[٢] (Davis) لحساب مقاومة القطار. وهذه المعادلة تغطي الأنواع المذكورة سابقا في معادلة تجريبية واحدة، حيث تساوي مقاومة الوحدة بالرطل للطن الواحد ما يلي:

$$R_t = (1.3 + 29/w + bV + CAV^2/wn)$$

حيث إن:

R_t = مقاومة القطار، أو مقاومة الجرّ، مقاسة بالرطل لكل طن لكل عربة أو قاطرة تسير على سكة مستقيمة ومستوية في هواء ساكن.

w = الوزن بالطن لكل محور في العربة أو القاطرة

(٢) W.J. Davis, Tractive Resistance of Electric Locomotive and Cars, *General Electric Review*, Vol. 29, October 1926, pp. 685-708.

n = عدد المحاور

b = معامل احتكاك شفة العجلات، وتأثير التأرجح والاهتزاز، ويساوي ٠,٠٤٥ لعربات نقل البضائع والسيارات على القطارات؛ وقيمته تساوي ٠,٠٣ للقاطرات وعربات الركاب؛ ويساوي ٠,٠٩ للقطارات المفردة المكونة من عربة واحدة فقط.

C = معامل مقاومة الهواء للسحب، ويساوي ٠,٠٠٢٥ للقاطرات، عموما، والقطارات المفردة والعربات التي في مقدمة القطار ومؤخرته؛ ويساوي٠,٠٠١٧ للقاطرات الانسيابية الشكل؛ ويساوي ٠,٠٠٠٥ لعربات البضائع؛ ويساوي ٠,٠٠٠٣٤ لعربات الركاب الخفيفة بما في ذلك النقل العام السريع.

A = مساحة المقطع للقاطرات والعربات بالقدم المربع (عادة، تساوي مابين ١٠٥ و ١٢٠ قدماً مربعاً للقاطرات، ومابين ٨٥ و ٩٠ قدماً مربعاً لعربات البضائع، ومابين ١١٠و ١٢٠ قدماً مربعاً لعربات الركاب والعربات المتشابكة، ومابين ٧٠ و ١١٠ أقدام مربعة للقطارات المفردة والعربات التي في مقدمة القطار ومؤخرته).

V = سرعة القطار بالميل لكل ساعة.

ويتم ضرب وحدة المقاومة (رطل/ طن) في وزن عربة القطار بالطن للحصول على مقاومة العربة الواحدة، أو ضرب وحدة المقاومة في الوزن الكلي للقطار بالطن للحصول على المقاومة الكلية للقطار.

وللأخذ بالاعتبار التحسن في سهولة التدحرج للمعدات والسكك الحديدية الحديثة، يمكن ضرب المقاومة المحسوبة أعلاه بمعامل يسمى معامل (K). ويأخذ المعامل (K) قيمة ٠,٨٥ للمعدات المصنوعة بعد عام ١٩٥٠م، والقيمة ١,٠٠ للعربات المسطحة التي تحمل فوقها مقطورات الشاحنات أو الحاويات، والقيمة ١,٣٣ لعربات نقل السيارات المحملة (ثنائية وثلاثية الأدوار)، والقيمة ١,٩٠ لها وهي فارغة.

وقد أوصى اتحاد هندسة السكك الحديدية الأمريكي باستخدام صيغة مطورة لمعادلة ديفس عند استخدام المعدات المتخصصة الحديثة[٣].

$$R = 0.6 + \frac{20}{w} + 0.01V + \frac{KV^2}{wn}$$

حيث إن:

K = ٠,٠٧ للمعدات المألوفة

= ٠,١٦ لمقطورات الشاحنات المحملة فوق عربات مسطحة

= ٠,٠٩٣٥ للحاويات المحملة فوق عربات مسطحة

(٣) "*Manual for Railway Engineering (Fixed Properties),*" American Railway Engineering Association, Chicago, Illinois, 1970 revision, p. 16-2-2.

وللسرعات التي تتجاوز ٥٠ ميلاً / ساعة (٥ , ٨٠كم/ ساعة)، فإنه يمكن استخدام القيم التجريبية التي حُصل عليها من الاختبارات الميدانية التي أجراها توتهل (Tuthill)، والتي تعد امتدادا لاختبارات شميدت (Schmidt) المعتمدة على معادلة ديفس، ولكن لمجالات سرعة أعلى[٤]، انظر الشكل (١٠ , ٤). ويمكن، أيضا، تطبيق قيم المعامل (٨) لقيم المقاومة المحسوبة من شميدت وتوتهل. وتأخذ الدراسات الأكثر دقة بالاعتبار مرونة السكك الحديدية ومقاومة الرياح والشكل الانسيابي للمركبة وطول العربة والفاقد من مولدات محاور العربات وحالة القضبان. وتزداد مقاومة ابتداء الحركة نتيجة القصور الذاتي وتبريد شحوم كراسي التحميل وتصريفها حتى تصل إلى القيم مابين ١٥ و ٥٠ رطلاً / طن حسب درجة الحرارة ونوع كراسي التحميل وطول الفترة الزمنية التي قضتها العربة واقفة.

وتتعرض أنظمة النقل بالقطار الأحادي القضبان وبالسكك المسننة وبالعربات الهوائية المعلقة إلى أنواع مشابهة من مقاومات الجرّ. وفي حالة السكة المسننة، يجب إضافة قيمة مقاومة الاحتكاك بين التروس والعجلة المسننة، ولكن هذه المقاومة تُعدُّ صغيرة مقارنة بمقاومة ميل السكة الكلية، إذ إن هذا النوع من السكك المسننة لا يستعمل إلا في المناطق الجبلية ذات الميول العالية. أما القطار الأحادي القضبان فهو يتعرض لقيم مختلفة من المقاومة حسب تصميم المركبة وطريقة التعليق، ولكن لا تتوافر بيانات منشورة عن اختبارات هذا النوع من المعدات. ومع ذلك، يمكن استخدام معادلة ديفس لحساب المقاومة، مع استخدام قيم ديفس الخاصة بالقطار المكون من عربة واحدة عندما يستخدم القطار أحادي القضبان بعجلات حديدية، واستخدام قيم المقاومة لدروج الإطارات على سطح الرصف عندما يستخدم القطار بإطارات مطاطية ويسير على قضبان خرسانية.

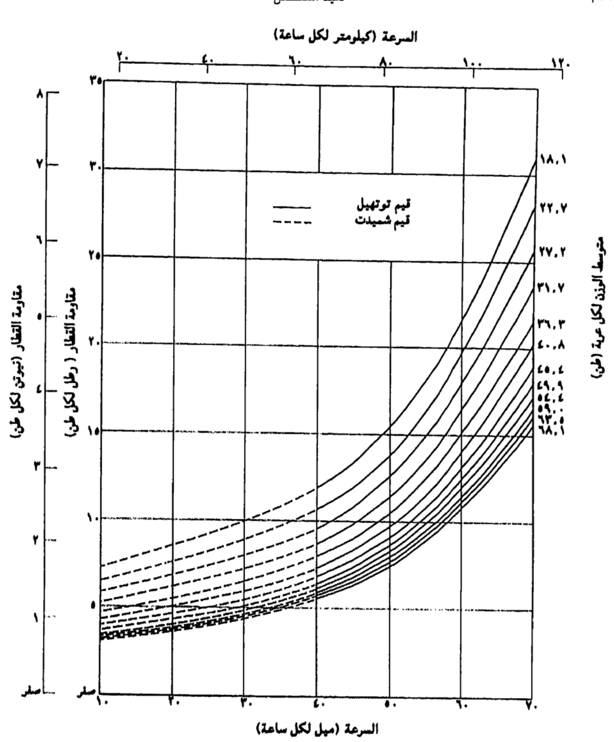
ومقاومة الدفع للمركبات التي تسير على الطرق شبيهة تماما بمقاومة الجرّ في القطارات. وتحسب مقاومة الدفع (والتي تسمى، أيضا، مقاومة حواف الإطارات أو مقاومة الطريق) عند سرعة ثابتة على طريق مستقيم في هواء ساكن. وتشمل العوامل المتنوعة التي تؤثر على المقاومة احتكاك الأجزاء المتحركة والأذرعة، وتروس نقل الحركة والمسنن التفاضلي، وتصميم الجزء الملامس للأرض من الإطارات وحالته وضغط الهواء في الإطارات، وكراسي تحميل العجلات، وحالة سطح الطريق والاهتزازات، ومقاومة الهواء، والوزن الإجمالي للمركبة.

١ - عادة ما يؤخذ في الاعتبار الفاقد نتيجة احتكاك الأجزاء المتحركة والأذرعة وتروس نقل الحركة، وذلك عند حساب الكفاءة الميكانيكية للمحرك، والتي تشكل مع غيرها من العوامل مابين ١٠٪ و ١٥٪ كفاقد في أداء المحرك.

٢ - تعكس حالة سطح الطريق المواد المستخدمة والميول العرضية للطريق وحالة الصيانة. وعادة ما تُدمج المقاومة الثابتة للوحدة (رطل/ طن) مع معامل حالة السطح لتعطي قيمة إجمالية لمقاومة الدروج. وبافتراض سرعة متوسطة قدرها ٤٠ ميلاً / ساعة (٦٥كم/ ساعة)، فعادة ما تستخدم قيمة تساوي ٢٠ رطلاً / طن (١ , ٩

---

(٤) John K. Tuthill, High Speed Freight Train Resistance, University of Illinois Engineering Experiment Station Bulletin 376, Urbana, 1948, and Edward C. Schmidt, Freight Train Resistance, University of Illinois Engineering Department Station Bulletin 43, Urbana, Illinois, 1934



الشكل (٤,١٠) منحنيات مقاومة القطار التي طورها شميدت وتوتهيل (Schmidt–Tuthill).

(Courtesy of University of *Illinois Engineering Experiment Station Bulletin* 376, 1948, p. 29.)

كغم/ طن) لتأثير المقاومة في حالة الرصف الخرساني الجيّد، وقيمة ٣٠ رطلاً/ طن (٦, ١٣ كغم/ طن) للرصف المتوسط الحالة، وقيمة ٤٠ رطلاً/ طن (٢, ١٨ كغم/ طن) للرصف السيء. والقيم المقابلة للطرق الزفتية هي ٣٠ و٤٥ و٧٠ رطلاً/ طن (٦, ١٣ , ٤, ٢٠ , ٨, ٣١ كغم/ طن)، على الترتيب، وللطرق الترابية ٧٠, و٩٠, و١٥٠ رطلاً/ طن (٨, ٣١ , ٨, ٤٠ , ١, ٦٨ كغم/ طن)، على الترتيب، أيضا.

ولا تأخذ هذه التبسيطات في الاعتبار التفاوت في السرعة والوزن الإجمالي للمركبة (والذي يقابل وزن العربة في القطارات). وقد قام السيد ستار (Starr) باستخدام نتائج الاختبارات التي أجرتها مصلحة الطرق العامة الأمريكية على المقاومة الكلية للمركبات على الطرق، وذلك لحساب مقاومة الدروج عن طريق طرح مقاومة الهواء من المقاومة الكلية عند السرعات من ٤ إلى ٤٠ ميل/ ساعة[٥]. واستنبط السيد ستار معادلة خطية للمقاومة كالتالي[٦]:

$$R_r = 17.9 + (1.39 - 10.2)/W_v$$

حيث إن:

R_r = وحدة مقاومة الدروج مقاسة بالرطل لكل طن.

V = السرعة بالميل في الساعة.

W_v = الوزن الإجمالي للمركبة بالطن.

ويمكن الحصول على وحدة مقاومة حواف الإطارات أو مقاومة الطريق (R) بإضافة القيم المألوفة لمقاومة الهواء، والتي تأخذ الصيغة، ($R_a = CAV^2/W_v$) بحيث تكون

$$R = 17.9 + (1.39V - 10.2 + 0.0024\,AV^2)/W_v$$

وفي هذه الحالة، فإن الرقم ٠٠٢٤ , ٠ (0.0024) يمثل معامل مقاومة السحب (C)، والرمز (A)، يمثل مساحة المقطع العرضي للمركبة.

وبما أن هذه التجارب قد أجريت على طرق خرسانية جيدة، فإن أنواعاً أخرى من الطرق، بحالات سطح مختلفة، يمكن حسابها باستعمال قيمة مقاومة الدروج (باستثناء مقاومة الهواء) مع تعديل ذلك الجزء من المعادلة الرياضية للمقاومة الكلية بنسبة تأثير عامل سطح الطريق الخرساني الجيد إلى عامل سطح الطريق الذي نحن بصدده.

وقد أدت الحاجة إلى الاقتصاد في استهلاك الوقود في وسائل النقل إلى التركيز على إمكانية تخفيض مقاومة الهواء، وذلك بإدخال تحسينات على تصميم المركبات لتكون أكثر انسيابية. ويمكن تقويم الفوائد الناتجة عن هذا التحسين بتقليل قيمة معامل مقاومة السحب (C) في الجزء الخاص بمقاومة الهواء في المعادلات الرياضية لديفس

---

(٥) C.C. Sall, Hill Climbing Ability of Motor Trucks, *Public Roads*, Vol. 23, No. 23, U.S. Bureau of Public Roads, May 1942, pp. 33-54.

(٦) Millard O. Starr, *A Comparative Analysis of Resistance to Motion in Commercial Transportation*, unpublished Master of Science thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Illinois, Urbana, 1945.

وستار. والهدف من الانسيابية في التصميم هو الحصول على انسياب طبقي لحركة المركبة والتقليل من اضطراب التيارات الهوائية التي تسببها العناصر البارزة في المركبة والأطراف الحادة في واجهة المركبة ومؤخرتها، وكذلك الإطارات والمكونات السفلية للمركبة، والمسافة بين وحدات المركبة. وإذا أراد القارئ التوسع في هذا الموضوع فإن المرجع الثالث في نهاية هذا الفصل يعطي بحثا مستفيضا ووافيا لمعادلة ديفس لمقاومة الهواء، أو في كتاب المؤلف بعنوان «هندسة السكك الحديدية»(٧).

مقاومة الهواء مهمة لحركة السيارات، إذ تزيد قيمتها مع زيادة السرعة. ولكن هذه المقاومة مهمة جدا للحافلات والشاحنات خلال تحركها بسرعة ٥٠ إلى ٧٠ ميلاً (٨٠ إلى ١١٢كم) في الساعة إذ إنها تعيق حركتها إلى حد كبير. ولذلك أجريت الأبحاث للتخفيف من هذه المقاومة، وبالتالي، التخفيف من استهلاك الوقود، وذلك بتدوير حواف المقطورات وزواياها، وبوضع مصدّات في مقدمة الشاحنة بين مقصورة القيادة والمقطورات للمساعدة على تزحلق الهواء عند اصطدامه بمقدمة الشاحنة خلال حركتها. ويمكن تخفيض معامل مقاومة الهواء بنسبة ١٠ إلى ٢٠٪ وذلك بوضع مصدّات على مقدمة الشاحنة لحرف الهواء إلى أعلى بحركة انسيابية، كما كان الحال في قاطرات الركاب القديمة التي تسير بالديزل والتي كان تصميم مقدمتها مائلا ميلانا إنسيابياً. وينبغي ذكر أن الرياح الجانبية أو الرياح التي تهب على جانب المركبة قرب مؤخرتها يمكن أن تولد مقاومة عالية، ولكن البيانات الكمية المتوافرة عن تأثيرها شحيحة.

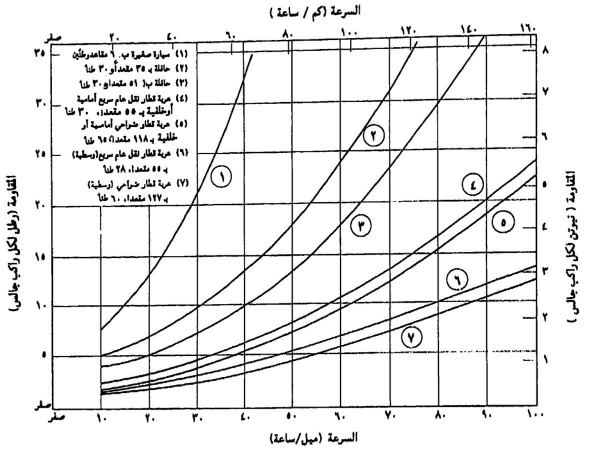
ويمكن للمرء أن يلاحظ أن معادلات مقاومة الحركة على السكك الحديدية وعلى الطرق تأخذ الشكل $\left[A+\left(\frac{B}{W}\right)+CV+DV^2\right]$ الذي يحتوي على عامل ثابت لمقاومة الدروج، وعامل آخر يتغير بتغير وزن المركبة، وآخر يتغير مع السرعة، ورابع يتغير مع مربع السرعة. انظر إلى الشكل (١١ , ٤) للحصول على قيم نموذجية لمقاومة المركبات التي تسير على السكك الحديدية وعلى الطرق.

وتعتمد المقاومة للقطار الأحادي القضبان على ما إذا كان يستخدم عجلات حديدية تسير على قضبان حديدية، أو إطارات مطاطية تسير على ممر مرصوف. ويصل متوسط معامل الاحتكاك (أو الالتصاق) لـ ٠,٢٠ في الحالة الأولى، و٠,٨٠ في الحالة الثانية أعلاه. وعليه، فإن متوسط المقاومة للعجلات الحديدية هو حوالي ٤ أرطال (١,٨ كغم) لكل طن، وللإطارات المطاطية (١٦ رطلاً ٧,٣ كغم) لكل طن. وعند أخذ السرعة والتأثيرات العملية الأخرى بالاعتبار، فإن هذه القيم تصل إلى ٦ أرطال (٢,٧٢ كغم)، و٣٠ رطلاً (١٣,٦ كغم) لكل طن، والتي تؤخذ عادة كمتوسطات لمقاومة حركة القطار الأحادي القضبان على السكك الحديدية، وعلى الطرق، على الترتيب.

السفن Ships: تعتمد مقاومة السفينة على عدة عوامل تشمل تصميم جسم السفينة وحالتها، وعرض القناة المائية وعمقها، وارتفاع الأمواج وتنظيم الحمولة والصابورة. وفيما يلي مناقشة مبسطة جدا لبعض العلاقات المهمة في هذا الموضوع.

---

(٧) W.W. Hay, *Railroad Engineering*, Vol. I, Wiley, New York, 1953, pp. 77-78.



الشكل (٤,١١). المقاومة لكل راكب لمركبات النقل العام على الطرق وبالسكك الحديدية.

يجب أن تتغلب القوة الدافعة للسفينة على المقاومات المهمة التالية :

(أ) مقاومة الاحتكاك السطحي، وهو الاحتكاك بين السطح الساكن للماء والجزء المبتل من جسم السفينة.

(ب) مقاومة الجريان الانسيابي

(جـ) مقاومة التيارات المائية المضطربة

(د) مقاومة الأمواج

وسندرس هذه الأنواع من المقاومة عند سرعة ثابتة للسفينة في هواء ساكن. كما أن هناك مقاومة إضافية هي مقاومة الهواء لحركة الجزء غير المغمور للسفينة، وتساوي $[R_a = CAV^2]$. وتقلل انسيابية معظم السفن وسرعتها البطيئة من مقدار هذه المقاومة.

تشكل مقاومة الاحتكاك السطحي من ٥٠٪ إلى ٨٥٪ من المقاومة الكلية، وتعتمد على تصميم جسم السفينة وسرعتها. وتستخدم معادلة ديوراند (Durand) التجريبية استخداماً شائعاً لحساب الاحتكاك السطحي وهي $[R_s = fA_W V^{1.86}]$، حيث تمثل (R_s) مقاومة الاحتكاك السطحي مقاسة بالرطل، والمعامل (f) هو معامل الاحتكاك الذي

يتراوح من ٠,٠١ للسفن بطول ٢٠ قدما (٦,١ مترا) وحتى ٠,٠٠٨٥ للسفن بطول ٦٠٠ قدم (١٨٢,٩ مترا)، إذ إن السفن الأطول تبحر بانسيابية أكثر. ويزيد معامل الاحتكاك بنسبة ٢٥٪ للسفن التي يكون أسفلها متسخا، وحتى ١٠٠٪ للسفن التي تتراكم أسفلها الهدابيات البحرية العالقة. و (V) هي السرعة بالعقدة البحرية (العقدة تساوي ميلاً بحرياً واحداً أو ٦٠٨٠ قدماً في الساعة). وتمثل (A_W) مساحة السطح المبلل من جسم السفينة مقاسة بالقدم المربع، وتساوي تقريبا المقدار $[15.6\sqrt{D_s \times L}]$، حيث ($D_s$) هي الإزاحة بالطن و ($L$) هو الطول بالقدم. أما المقاومات الأخرى (والتي تعرف بالمقاومات المتخلّفة أو المتبقيّة) فتشمل مقاومة الجريان الانسيابي التي تنتج عن تأثير التيارات المائية المضطربة، وبشكل أساسي، بفعل الأمواج. وهذه المقاومات مشمولة في معادلة تايلور (Taylor) التجريبية الآتية: [٨]

$$R_r = 12.5 \times C_B \times D_s \times \left(V/\sqrt{L}\right)^4$$

حيث إن:

R_r = المقاومة بالرطل

C_B = المعامل الحجمي

D_s = الإزاحة بالطن

V = السرعة بالعقدة البحرية

L = طول الجزء المبلل من جسم السفينة بالقدم

ويمثل المقدار $\left(V/\sqrt{L}\right)^4$ نسبة السرعة إلى الجذر التربيعي للطول، ويمثل تأثير أمواج مقدمة السفينة على أمواج المؤخرة وبالعكس.

وتساوي المقاومة الكلية المجموع التالي $[R = R_s + R_r + R_a]$، حيث (R_a) هي مقاومة الهواء لحركة الجزء غير المغمور من السفينة $[R_a = CAV^2]$ بحيث (A) هي مساحة المقطع بالقدم المربع، و (C) هو معامل مقاومة السحب ويساوي ٠,٠٠٢، و(V) هي السرعة بالعقدة البحرية. وتحسب وحدة المقاومة بالمقدار $[R/D_s]$ حيث(D_s) هي الإزاحة الإجمالية للسفينة المحمّلة. وبالتعويض في قيم كل نوع من أنواع المقاومة، نحصل على وحدة المقاومة كالتالي:

$$R = \left(15.6 \;\, f \;\, \sqrt{D_s L} \;\; V^{1.83} + CAV^2\right)/D_s + 12.5 \;\; C_B V^4/L^2$$

وفي حالة مرور السفينة بالقنوات المائية الضيقة، فإن الماء يفيض على الجدران الجانبية للقناة مما يزيد من قوة المقاومة التي يمكن حسابها كالتالي $\left[R_c = 8.5 \;\; R/\left(2 + a/15.6\sqrt{D_s L}\right)\right]$، حيث ($R_c$) هي المقاومة في القناة المحصورة، و (R) هي المقاومة في المياه الواسعة المفتوحة، و (a) هي مساحة مقطع القناة بالقدم المربع و(D_s) و (L) لهما المعنى السابق ذكره نفسه.

(٨) D.W. Taylor, *The Speed and Power of Ships*, Wiley, New York 1910.

أما في حالة الصنادل المترابطة، فإن ترابطها مع بعضها عند قطرها يقلل من المقاومة. وتتعرض النهايتان الأمامية والخلفية للمجموعة عند قطرها للأمواج الأمامية والخلفية المائلة، في حين يعمل ربط الصنادل الواقعة في وسط المجموعة مع بعضها بإحكام على تقليل التيارات المائية المضطربة التي قد تتعرض لها لو كانت منفردة. كما يساعد انتظام قوة الجرّ وانتظام عمق القناة المائية على التقليل من المقاومة إلى أدنى حد.

الطائرة Aircraft: موضوع مقاومة الطائرة هو موضوع بالغ التعقيد، ولذا فإن مناقشته هنا ستكون مبسطة جدا لتتفق مع طبيعة هذا الكتاب، بحيث يمكن شرح المبادئ الأساسية وتوضيح التشابه الموجود بين مقاومة الطائرة ومقاومات الدفع لوسائط النقل الأخرى.

تُعرّف مقاومة الطائرة، والتي تسمّى عادة «بمقاومة السحب»، بأنها مقاومة الهواء للحركة الأمامية للطائرة. ونظرا لعدم سير الطائرة فوق طريق صلب فإن مقاومة الدروج واحتكاك التحميل غير موجودة هنا. ولكن وزن الطائرة، ممثلا بمساحة الجناح اللازمة لرفعها، يدخل في الاعتبار. وباستخدام علوم ميكانيكا الموائع فإن مقاومة سائل ما لمرور جسم عبره تساوي $\left[D = C_D\ (\ell/2)\ Sv^2\right]$، حيث يعتمد المعامل (C_D) على شكل الجسم والاحتكاك السطحي وتأثير الدوامات، و (ℓ) هي كثافة السائل (الهواء) مقاسة بالسلق (Slugs) لكل قدم مكعب عند الارتفاع المعين للطائرة (السلق الواحد = ١٤,٥٩ كغم). و(S) هي مساحة الجناح بالقدم المربع، و(v) هي السرعة بالقدم لكل ثانية. وتشبه هذه العلاقة الرياضية تلك الخاصة بقوة الرفع باستثناء اختلاف المعاملات. وفي الواقع، فإن قوة السحب وقوة الرفع تمثلان مشتقة الجيب (sin) وجيب التمام (cos)، على الترتيب، للقوة الكلية العاملة على سطح الجناح.

وتتكون مقاومة السحب من عنصرين: (أ) مقاومة السحب الطفيلية الناتجة عن الضغط الواقع على مقدمة الطائرة والاحتكاك الجانبي لأجزائها، و(ب) مقاومة السحب الذاتية المستحثّة من تولد قوة الرفع، وذلك، أساسا، بسبب الدوامات المتجهة للأسفل عند نهايات الأجنحة، وعلى ذلك، يمكن كتابة معادلة مقاومة السحب كالتالي $\left[D = \left(C_{Dp} + C_{Di}\right)\ (\ell/2)\ Sv^2\right]$، حيث إن (C_{Dp}) و (C_{Di}) يمثلان معاملي السحب الطفيلي والمستحث، على الترتيب. وتتفاوت قيم هذه المعاملات مع نوع الجناح. وعادة ما تُحدّد هذه القيم بإجراء اختبارات للأجنحة في الأنفاق الهوائية. ويمثل الشكل (٦,٤) هذه القيم بيانيا، كما يمكن، أيضا، حسابها.

وتحسب قيمة المعامل (C_{Dp}) بجمع المعاملات المنفردة لجميع أجزاء هيكل الطائرة العديدة، والقيم الموضحة في الشكل (٦,٤) لمعامل قوة السحب خاصة بالجناح، فقط. وكذلك، فإن مقاومة السحب الطفيلية هي مجموع مقاومات السحب الناتجة عن مجموعة الذيل وهيكل الطائرة وحجرة المحركات والعناصر الأخرى التي تواجه الهواء القادم من الأمام. ويعبّر عن جميع هذه المكونات لمقاومة السحب الطفيلية بمقاومة السحب المكافئة الناتجة عن لوح مسطّح متعامد مع اتجاه الريح النسبية وله معامل سحب أحادي القيمة. وبالتالي، فإن قيمة (C_{Dp}) الكلية تساوي قيمة (C_{Dp}) للأجنحة (كما في الشكل ٦,٤ أو ما يعادله) زائدا قيما مفترضة لـ(C_{Dp}) لمساحة الذيل والعناصر الأخرى. وعادة ما تعد مساحة الذيل معادلة لـ ٣٠٪ من مساحة الجناح بمعامل (C_D) قدره ٠,٠١؛ كما تكون قيمته ٠,١٠ للعناصر الأخرى.

وتعرّف النسبة الباعيّة (AR) بأنها نسبة أقصى امتداد لطول الجناح لمتوسط عرضه، أو وتر الجناح $\left[AR = b/_c = b^2/_S\right]$ ، حيث (b) هو طول الجناح، و (c) هو عرضه، و (S) هي مساحته . ويمكن أن تقلّ قيمة النسبة الباعيّة حتى ٢ إلى ٣ للصواريخ والطائرات الأسرع من الصوت، وتزيد حتى ٦ إلى ٨ للطائرات الصغيرة، وتتراوح بين ٨ و ١٥ للطائرات التجارية بعيدة المدى . والبيانات في الشكل (٦ , ٤) مبنية على الممارسة الحالية التي تفترض طولاً لا نهائياً للجناح والأسطح الحاملة الأخرى . وبالطبع، فإن الأجنحة محدودة الطول، وبالتالي، فإن الهواء يجري من تحت أطراف الأجنحة إلى منطقة الضغط المنخفض فوقها مما يتسبب في وجود حركة للهواء بسرعة معينة على طول الجناح تضغطه للأسفل، مما يقلل من قوة الرفع وزاوية الهبوب . ومن أجل تعويض هذا النقص في قوة الرفع، يجب زيادة زاوية الهبوب بزاوية إضافية صغيرة ($\propto_1$)، والتي بدورها تتسبب في زيادة مقاومة السحب . ويمكن حساب القيمة اللازمة لهذه الزاوية الإضافية باستخدام أساسيات علوم جريان السوائل كالتالي، $\left[\propto_1 = C_L/_{\pi AR}\right]$ ، والمعامل $\left[C_{Di} = C_L^2/_{\pi AR} = C_L \propto_1\right]$. ويجب ملاحظة أنه عند التحليق في خط مستقيم، فإن هناك سرعة واحدة، فقط، لكل زاوية هبوب، وعليه، فيكون هناك قوة رفع واحدة وقيمة واحدة للمعامل عند تلك السرعة وتلك الزاوية .

أما مقاومة السحب المستحثّة فتعتمد على طول الجناح، فقط، فكلما زاد طول الجناح قلت تلك المقاومة . ولكن، بالمقابل، تزيد عزوم الانحناء كلما زاد طول الجناح مما يتطلب زيادة قوة تحمّله ووزنه أحيانا . ولذلك فإن التصميم المناسب يجب أن يوازن اقتصاديا بين طول الجناح ومقاومة السحب المستحثة .

وتزيد مقاومة السحب مع مربع سرعة الطائرة، ولكنها تقل مع زيادة الارتفاع نظرا للنقص في كثافة الهواء الجوي مع الارتفاع . وتقليل طول الجناح يقلل من مقاومة السحب الطفيلية ولكنه يقلل، أيضا، من قوة الرفع . وعلى المصمم أن يختار بين تحقيق سرعة عالية أو زيادة سعة التحميل للطائرة عند قوة دفع وقدرة أحصنة محددة .

والخلاصة أن الحمولة الإجمالية التي تستطيع الطائرة حملها، عند تحليقها في خط مستقيم في هواء ساكن وبسرعة ثابتة عند ارتفاع معين تعتمد على السرعة وقدرة المحركات وكثافة الهواء وعوامل الارتفاع ودرجة الحرارة، وكذلك على مقاومة السحب وطول الجناح وزاوية الهبوب . وتساوي وحدة المقاومة حاصل قسمة مقاومة السحب على الوزن الإجمالي للطائرة .

مثال توضيحي

افترض أن لدينا طائرة نقل خفيفة لها محركان قطر كل منهما ٤٨ بوصة وقدرته ١٦٠٠ حصان (١٣٠٠ حصان عند ارتفاع ٨٠٠٠ قدم)، ومتوسط قطر هيكل الطائرة ٨ أقدام، ومساحة الجناح الواحد ٩٨٠ قدماً مربعاً (النسبة الباعيّة مالا نهاية)، وقوة الرفع للطائرة تساوي ٢٥٠٠٠ رطل . حدد ما يلي:

(أ) مدى ملاءمة مساحة الجناح للاقلاع والهبوط بسرعة ٨٠ ميلاً / ساعة.

(ب) مقاومـة السحب عند التحليق على ارتفاع ٨,٠٠٠ قدم بسرعـة ١٨٠ ميلاً / ساعة، مع افتراض أن كثافة الهواء تساوي ٠,٠٠١٩ سلق.

أ - قوة الرفع (L) يجب أن تساوي الوزن الإجمالي للطائرة = ٢٥٠٠٠ رطل

$$\left[L = 25000 = C_L(\ell/2)\ Sv^2\right]$$

وعند افتراض أقصى قوة للرفع، فإن المعامل (C_L) = ١,٥٦ (من الشكل ٦,٤) والمتغيرات الأخرى في المعادلة تأخذ القيم التالية:

ℓ = ٠,٠٠٢٤ سلق عند سطح البحر

v = ٨٠ × ٥٢٨٠ ÷ ٣٦٠٠ = ١١٨ قدماً / ثانية

S = مساحة الجناح المطلوب حسابها بالقدم المربع

وتصبح المعادلة ٢٥٠٠٠ = ١,٥٦ × $\frac{٠,٠٠٢٤}{٢}$ × ١١٨ × ١١٨ × S

ومن ذلك S = ٩٥٩ قدماً مربعاً، وهي أقل من المساحة المتوافرة (٩٨٠ قدماً مربعاً) وعلى ذلك، فإن مساحة الجناح المعطاة تعد ملائمة.

ب - يمكن حساب مقاومة السحب (D) من المعادلة $\left[D = C_D\ \ell/2\ Sv^2\right]$، حيث إن المعامل $[C_D = C_{D_p} + C_{D_i}]$ كما يمكن حساب معامل الرفع (C_L) عند ارتفاع ٨٠٠٠ قدم وسرعة ١٨٠ ميلاً / ساعة من معادلة الرفع المذكورة في (أ) أعلاه:

C_L = ٢٥٠٠٠ ÷ (٩٨٠ × ٢٦٤ × ٢٦٤ × $\frac{٠,٠٠١٩}{٢}$) = ٠,٣٨٥

وباستخدام هذه القيمة في الشكل (٦,٤)، فإن C_{D_p} = ٠,٠٠٥٥. ولنفرض أن قيمة المعامل (C_{D_p}) تساوي ٠,٠١ للذيل، و ٠,١٠ للعناصر الأمامية الأخرى، كما نفترض أن مساحة الذيل تعادل تقريبا ٣٠٪ من مساحة الجناح، والنسبة الباعية للجناح (AR) تساوي ٨.

ومن ذلك، يمكن حساب المساحة المكافئة (A_e) لجميع عناصر المقاومة بدلالة مساحة لوح مسطح متعامد مع اتجاه الريح النسبية وله معامل سحب أحادي القيمة (١,٠٠)، وذلك بضرب كل مساحة بمعامل مقاومتها.

(A_e) = المساحة المكافئة للذيل + المساحة المكافئة لهيكل الطائرة + المساحة المكافئة للمحركات + مساحة اللوح

(A_e) = (٠,٠١ × ٩٨٠ × ٠,٣٠) + (٠,١٠ × $\frac{\pi}{٤}$ × ٨ × ٨) + (٠,١٠ × $\frac{\pi}{٤}$ × ٤ × ٤ × ٢) + ١,٠٠

(A_e) = ١١,٤٧ قدماً مربعا

ولكن $[A_e = C_{D\,p}\; S]$ ومن ذلك فإن المعامل (C_{Dp}) للأجزاء الأخرى خلاف الجناح يساوي $[A_e/S]$. وتساوي قيمة المعامل (C_{Dp}) الكلية حاصل جمع قيمة المعامل للجناح وقيمته للأجزاء الأخرى، أي أن

C_{Dp} الكلي = ٠,٠٠٥٥ + $\frac{١١,٤٧}{٩٨٠}$ = ٠,٠١٧

أما المعامل الآخر $\left[C_{Di} = C_L^2 / \pi AR\right]$ فيمكن حسابه كالتالي:

C_{Di} = $(C_L)^٢$ ÷ (٨ × ٣,١٤) = ٠,٣٨٥ × ٠,٣٨٥ ÷ ٢٥,١٢

C_{Di} = ٠,٠٠٥٩

ومجموع هذين المعاملين يعطي معامل مقاومة السحب الكلي $\left[C_D = C_{Di} + C_{D\,p}\right]$ كالتالي:

C_D = ٠,٠٠٩٥ + ٠,٠١٧ = ٠,٠٢٢٩

ويمكن حساب قوة السحب الكلية من العلاقة $\left[D \;=\; C_D(\ell/2)\; Sv^2\right]$ كالتالي:

D = ٠,٠٢٢٩ × $\frac{٠,٠٠١٩}{٢}$ × ٩٨٠ × ٢٦٤ × ٢٦٤

D = ١٤٨٦ رطلاً

ووحدة المقاومة تساوي حاصل قسمة مقاومة السحب على الوزن الإجمالي للطائرة

وحدة المقاومة = ١٤٨٦ ÷ $\frac{٢٥٠٠٠}{٢٠٠٠}$ = ١١٩ رطلاً / طن (٥٤,٣ كغم/ طن)

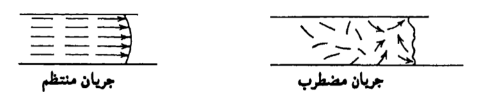
مقاومة خطوط الأنابيب Pipeline Resistance: تتكون مقاومة الجريان في الأنابيب من المكونات الأساسية التالية: (أ) المقاومة الذاتية للسائل نتيجة لزوجته أو مقاومة قوى القص ودرجات الحرارة التي تؤثر على اللزوجة، (ب)-حالة الجريان أو نوعه فيما إذا كان منتظما (طبقيا) أم مضطربا، (جـ) مقاومة الاحتكاك بين السائل والجدار الداخلي للأنبوب، والذي يعتمد، بدوره، على معامل الخشونة للسطح الداخلي للأنبوب وقطر الأنبوب وعدد الوصلات المستخدمة وأنواعها (حيث تقلل زيادة قطر الأنبوب من نسبة الجريان الكلي الملتصقة بجدران الأنبوب).

وتحتوي معادلة فاننج (Fanning) لمقاومة الجريان على جميع هذه العوامل، وتأخذ الصيغة التالية $\left[h \;=\; f\ell L\, v^2 / 2gd\right]$، حيث ترمز (h) لمقاومة الجريان أو فاقد الضغط مقاسا بالقدم، و (L) هو طول الأنبوب بالقدم، و(v) هي سرعة الجريان بالقدم لكل ثانية، و (d) هو قطر الأنبوب بالقدم، و (g) هي عجلة الجاذبية وتساوي ٣٢,٢ قدم/ ثانية مربعة، و(f) هو معامل احتكاك الأنبوب، و(ℓ) هي كثافة السائل مقاسة بالرطل لكل قدم مكعب، وتساوي حاصل ضرب الكثافة النوعية (أو الثقل النوعي) في الثابت ٦٢,٤. وقد وجد العالم الإنجليزي رينولدز

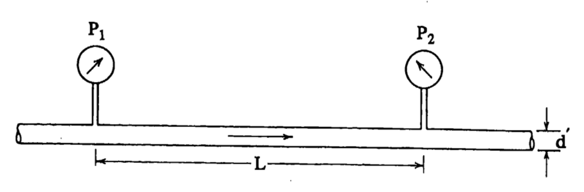
(Reynolds) أنه يمكن حساب معامل الاحتكاك (f) كدالة في النسبة بين حاصل ضرب سرعة الجريان (v) في قطر الأنبوب (d)، وبين لزوجة السائل. وهذه النسبة غير مميزة بعديا وتسمى برقم رينولدز الذي يساوي $\left[N = dv\ell/u\right]$ حيث إن كلا من (d) و (v) و (ℓ) لها المعاني السابق ذكرها نفسها، و (u) هي لزوجة السائل. وقد اتضح أنه يمكن توصيف كل من الجريان الطبقي أو اللزج والجريان المضطرب برقم معين من أرقام رينولدز حيث أثبت رينولدز عمليا أن الجريان في الأنابيب يكون جريانا طبقيا إذا كان رقم رينولدز أقل من ٢٠٠٠ ويكون جريانا مضطربا إذا زاد رقم رينولدز على ٣,٠٠٠ (انظر الشكل ٤,١٢). أما بين هذين الحدين (٢٠٠٠ - ٣٠٠٠) فإن الجريان تعد في حالة انتقال ولكن، احتياطا، يمكن اعتباره مضطربا، ويوجد لكل قيمة من قيم رقم رينولدز قيمة مقابلة لمعامل الاحتكاك. وأشارت التجارب إلى أنه يمكن التعبير عن العلاقة بين معامل الاحتكاك ورقم رينولدز في منطقة الجريان الطبقي من خلال المعادلة الآتية $[f = 64/N]$. وعند التعويض بهذه القيمة لمعامل الاحتكاك (f) في معادلة فاننج، مع تحويل وحدة فاقد الضغط إلى رطل لكل بوصة مربعة من الضغط، نحصل على معادلة شبيهة بمعادلة بويسيولي (Poisuille) للجريان في الأنابيب الصغيرة والتي تأخذ الصيغة:

$$P = P_l - P_f = 2u\ v\ L/9\ g\ d^2$$

حيث (P) هو فاقد الضغط بالرطل لكل بوصة مربعة على طول الأنبوب (L) بالقدم، والمتغيرات (d) و (g) و (v) و (u) لها المعاني نفسها كما في معادلة فاننج، و (P_l) و (P_f) تمثلان الضغط في بداية ونهاية طول (L) من الأنبوب، على التوالي. انظر الشكل (٤,١٣).



الشكل (٤,١٢). الجريان المنتظم والجريان المضطرب.



الشكل (٤,١٣). الفقد في الضغط في خطوط الأنابيب.

وهناك معادلة يستخدمها ممارسو صناعة النقل بالأنابيب بكثرة لحساب فاقد الضغط في الجريان المنتظم الذي يحسب لكل وحدة طول من خط الأنابيب ، كالتالي : [٩]

$$P = 1500\,B\,u / D^4$$

$$P = 962{,}000\,Q\,u / D^4$$

حيث إن :

P = فاقد الضغط لكل ميل طولي للأنبوب مقاسا بالرطل لكل بوصة²

B = الجريان مقاسا بالبرميل في الساعة (البرميل الواحد يساوي ٤٢ جالوناً)

Q = الجريان مقاسا بالقدم المكعب في الثانية

D = قطر الأنبوب بالبوصة

u = لزوجة السائل مقاسة بوحدات القدم - رطل - ثانية أي رطل- ثانية لكل قدم مربع .

ومن المناسب استخدام معادلة فاننج للجريان المضطرب لجميع قيم رقم رينولـدز (N) التي تزيد على الرقم ٢٠٠٠ . ويجب الحصول على قيمة معامل الاحتكاك (f) معمليا أو من النتائج المعملية السابقة الموضوعة على شكل جداول وأشكال بيانية ، كما في الجدول (١ , ٤) .

الجدول (١ , ٤): معامل احتكاك الأنبوب.[أ]

رقم رينولدز (N)	معامل الاحتكاك (f)	رقم رينولدز (N)	معامل الاحتكاك (f)
٢٥٠٠	٠,٠٤٧٥	٣٠٠٠٠	٠,٠٢٣٠
٣٠٠٠	٠,٠٤٥٠	٣٥٠٠٠	٠,٠٢٢٥
٤٠٠٠	٠,٠٤١٥	٤٠٠٠٠	٠,٠٢٢٠
٤٥٠٠	٠,٠٤٠٠	٥٠٠٠٠	٠,٠٢١٠
٦٠٠٠	٠,٠٣٧٥	٦٠٠٠٠	٠,٠٢٠٠
٨٠٠٠	٠,٠٣٣٥	٨٠٠٠٠	٠,٠١٨٠
١٠٠٠٠	٠,٠٣١٥	١٠٠٠٠٠	٠,٠١٧٥
٢٠٠٠٠	٠,٠٢٦٥		

(أ) استنادا إلى الشكل رقم (١٣) من المرجع السابق.

(٩) W.G. Helzel, Flow and Friction in Pipelines, Piplines Section, *Oil and Gas Journal*, Tulsa, Oklahoma, June 5, 1930, pp. T-203, T-224.

وبتحويل معادلة فاننج إلى الوحدات العملية لخطوط الأنابيب، فإن:

$$P = 0.55830 \, f \, B^2 \;\; \ell / D^5$$

$$P = 229{,}610 \, f \, Q \;\; \ell / D^5$$

حيث إن:

P = مقاومة الجريان لكل ميل طولي للأنبوب مقاسا بالرطل لكل بوصة مربعة

f = معامل احتكاك الأنبوب (من القيم التجريبية)

والمتغيرات (B) و (Q) و (D) و (ℓ) هي كما سبق تعريفها في المعادلات السابقة.

وعادة ما يتم وصف نوع النفط بذكر كثافته النوعية بوحدات «درجات معهد النفط الأمريكي» التي يرمز لها بالرمز (API°)، وذلك بناء على مقياس تدرج اختياري حيث يتم اعتبار الكثافة النوعية للماء ١٠ درجات من(API°). ويمكن التحويل من الكثافة النوعية النمطية والكثافة النوعية بوحدات (API°) باستخدام العلاقة [الكثافة النوعية النمطية = ٥ , ١٤١ ÷ (٥ , ١٣١ + درجة API)].

وتحدد «اللزوجة» (u) في صناعة النفط باستخدام مقياس سايبولت (Saybolt) العالمي لقياس اللزوجة، وهو الوقت اللازم بالثواني لمقدار ٦٠ سنتيمترا مكعبا من السائل كي يجري داخل أنبوبة شعرية قطرها الداخلي ١٧٦٥ , ٠ سم وطولها ٢٢٥ , ١ سم عند درجة حرارة معينة. وتقل اللزوجة بسرعة مع ارتفاع درجة الحرارة. وبقسمة معامل اللزوجة المطلقة على كثافة السائل ينتج ما يطلق عليه معامل اللزوجة الكينماتيكي. وباستخدام الوحدات الإنجليزية، فإن معامل اللزوجة الكينماتيكي يمكن حسابه كالتالي:

$$[u/\ell = 0.00000237 \, t - 0.00194/t]$$

حيث (u) هي اللزوجة المطلقة مقاسة بالرطل – ثانية لكل قدم مربع، و (ℓ) هي الكثافة مقاسة بالرطل لكل قدم مكعب و (t) هو زمن سايبولت بالثواني.

وتعدّ هذه المناقشة للزوجة ضرورية لتحديد قيم المعامل اللازمة لحساب رقم رينولدز من المعادلة [$N = dv\ell/u$].

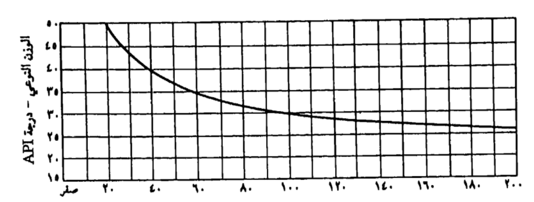
ويمكن تحويل هذه المعادلة إلى الوحدات العملية لخطوط الأنابيب كالتالي[$N = dv\,\ell/u = 0.02381(B/D)(\ell/u)$]

حيث (B) هو الجريان بالبراميل في الساعة، و (D) هو القطر الداخلي للأنبوب بالبوصة.[١٠] والعلاقة بين الكثافة النوعية واللزوجة ليست معروفة تماما. وقد أعد الشكل (١٤ , ٤) لمساعدة الطلاب على حل المسائل، فقط، ولكنه لا يمثل العلاقة الفعلية. وفيما يلي، نعرض لمثال توضيحي للدلالة على أهمية هذه العلاقات وكيفية استخدامها.

مثال توضيحى

يجب ضخ ٩٠٠ برميل من الزيت الخام في الساعة عبر خط أنابيب قطره ١٠ بوصات (الكثافة النوعية للزيت هي ٣٠ درجة API)، ما مقدار الفاقد في الضغط لخط أنابيب مستو يبلغ طوله ٣٠ ميلا؟

(١٠) المرجع السابق نفسه.



الشكل (٤,١٤). علاقة نموذجية بين الوزن النوعي واللزوجة للزيت الخام.

(An Averaging of Values from *Bureau of Mines Bulletin 291.*)

١ – من الشكل (١٤ , ٤)، لزوجة الزيت = ٩٥ ثانية سايبولت (عند لزوجة ٣٠ درجة API).

٢ – رقم رينولدز يمكن حسابه من المعادلة [$N = dv\,\ell/u = 0.02381 \quad B\,\ell/Du$] بوحدات الأنابيب على النحو التالي:

$$(\ell/u) = \frac{1}{(u/\ell)} = \left(\frac{١}{\frac{٠,٠٠١٩٤}{٩٥} - ٩٥ \times ٠,٠٠٠٠٠٢٣٧} \right)$$

$$(\ell/u) = ٤٨٨٤$$

$$N = ٤٨٨٤ \times (١٠ \div ٩٠٠ \times ٠,٠٢٣٨١)$$

$$N = ١٠٤٦٦$$

٣ – بما أن رقم رينولدز (N) يساوي ١٠٤٦٦ > ٢٠٠٠، فإن سريان الزيت سيكون جريانا مضطربا، وعليه، يجب استخدام معادلة فاننج، بوحدات الأنابيب، التالية [$P = 0.55830\, f\, B^2 \ell / D^5$]. ولتطبيق هذه المعادلة، يجب إيجاد قيم معامل الاحتكاك (f) والكثافة (ℓ) أولا على الوجه التالي:

ℓ = ٦٢,٤ × الكثافة النوعية النمطية

ℓ = ٦٢,٤ × ١٤١,٥ + (١٣١,٥ + ٣٠ درجة API) = ٦٢,٤ × ٠,٨٨

ℓ = ٥٤,٩

f = ٠,٠٣١٢ وذلك من الجدول (١ , ٤)

٤ – يمكن، الآن، حساب مقاومة الجريان

P = [٠,٥٥٨٣٠ × ٠,٠٣١٢ × (٩٠٠)^٢ × ٥٤,٣] + (١٠)^٥

P = ٧,٦٦ رطل لكل بوصة مربعة لكل ميل طولي للأنبوب

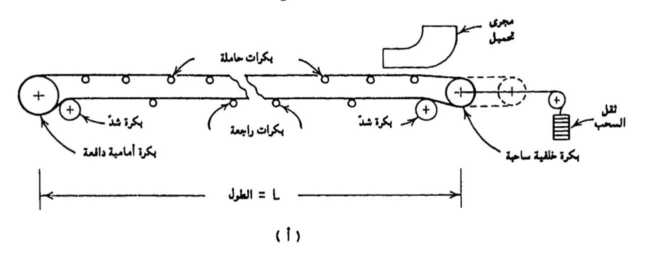
٥ - الفاقد في الضغط لخط الأنابيب = ٣٠ × ٧,٦٦ = ٢٢٩,٨٠ رطل/ بوصة[٢]

السيور المتحركة Belt Conveyors: يوضح الشكل (٤,١٥) العناصر المكونة لسير متحرك. ويتكون السير من عدة طبقات من قماش القنب (الذي يستعمل في الأشرعة والخيام) المنقوع والمغطى بالمطاط. كما يمكن استخدام أحزمة وترية، أو أسلاك حديدية، أو أي مواد أخرى لزيادة قوته. ويبلغ عدد البكرات السائبة التي تدعم السير ثلاث بكرات أو أكثر، أسطوانية الشكل بقطر يتراوح بين ٤ و ٧ بوصات (١٠سم إلى ١٨سم)، بحيث يكون هناك بكرة أو أكثر في منتصف المسافة الأفقية، وبكرتان في الأطراف الخارجية للسير مائلتان بزاوية ٢٠ درجة لتكوّن مجرى. وتوضع البكرات الحاملة السائبة على مسافات بينية تتراوح بين ٢,٥ و ٥,٥ قدم (٠,٨٠ إلى ١,٧٠ متر) حسب مقاس السير وثقل الحمولة. أما البكرات السائبة الراجعة فتوضع على مسافات بينية أكبر لأن حمولتها أقل. وتشمل عناصر السير الأخرى أجهزة التحكم بالشد وسقّاطات لتصريف الحمولة في النقاط المتوسطة، وأحيانا توجد منظّفات للسير تدور حول سطحه لإزالة الحمولة العالقة. أما البكرات المحركة للسير أو مصدر القدرة المحركة، فستناقش في الفصل التالي.

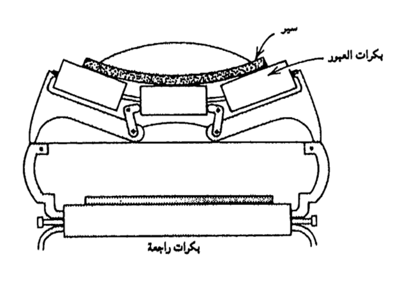
وتتعرض أنظمة النقل بالسيور المتحركة إلى نوعين أساسيين من المقاومات هما مقاومة البكرات ومقاومة الميل عندما يتم رفع الحمولة أو إنزالها من خلال فرق المنسوب الذي قد تعمل قوة الجاذبية على إعاقته أو مساندته. وسنناقش تأثير تغير المنسوب في حركة السيور في فصل قادم. أما مقاومة البكرات فتتمثل في المقاومة التي يتعرض لها سير يتحرك أفقيا نتيجة احتكاك التلامس مع البكرات الثابتة والسائبة. ويتفاوت مقدار مقاومة الاحتكاك حسب نوع المواد المستخدمة في صناعة السير والبكرات، ومدى تشحيم البكرات السائبة والمسافة البينية بينها، ومساحة التلامس وطول قوس التلامس، وفيما إذا كانت البكرات رطبة أو جافة، ونظيفة أو متسخة. وهناك عامل مهم في حركة السيور وهو مقدار قوة الشد المطبقة على السير بوساطة البكرات السائبة أو الأوزان العكسية أو أي وسيلة أخرى لضمان شد الأجزاء المرتخية من السير، إذ إن بقاء السير أو أجزاء منه مرتخية يمنع وصول قوة الشد إلى البكرات المحركة وبذلك يعطل عمل السير المتحرك الذي تعتمد فكرته على الشد.

يجب على البكرات الدافعة التغلب على مقدار ضخم من المقاومة حتى عندما يكون السير فارغا. وتتسبب إضافة ثقل الحمولة فوق السير بزيادة الوزن على البكرات وزيادة قوى المقاومة. كما يوجد شيء من مقاومة الهواء، ولكن، نظرا لعدم وجود مساحات كبيرة في مواجهة الهواء، بالإضافة إلى تدني سرعة حركة السير فإنه عادة ما يُغْفَل تأثير مقاومة الهواء، وكذلك تأثير التفاوت في سرعة حركة السير المصاحبة لها. وقليلة هي الدراسات التي أجريت لحساب قوى المقاومة لحركة السيور المتحركة بوحدات الرطل لكل طن، أي المقاومة الكلية مقسومة على الوزن الإجمالي للحمولة الموضوعة على السير المتحرك مقاسا بالطن.

وتتلخص الطريقة المتبعة لحساب قوة مقاومة الدفع في السيور المتحركة بأن تُحسب أولاً مقاومة حركة السير وهو فارغ، ثم تُحسب المقاومة الإضافية الناتجة عن ثقل الحمولة، وأخيرا إضافة تأثير ميل السير الذي سنناقشه في الفصل القادم.



(أ)



(ب)

(أ) مقطع طولي.
(ب) مقطع عبر البكرات الطرفية

الشكل (٤,١٥). سير متحرك أفقي نموذجي.

(Courtesy of *Goodyear Handbook of Belting: Conveyor and Elevator,* Goodyear Tire and Rubber Company, Akron, Ohio, p.9.)

وتتفاوت المقاومة مع طول السير وعرضه، ومع الحمل المطبق على البكرات التي يتحرك فوقها السير. ويحسب طول السير (L) الموضوع أفقيا من مركز البكرة الأمامية الدافعة إلى مركز البكرة الخلفية الساحبة. انظر الشكل (٤,١٥). أما السيور المائلة بدرجة الميل المعهودة، فإن الخطأ الناتج عن استخدام الإسقاط الأفقي لهذه المسافة بين المركزين يعد طفيفا، إذ يصل أقصى خطأ (عند أقصى ميل بزاوية ميل قدرها ٢٣ درجة وبطول السير

الكلي) إلى ٧,٨٪ . [١١] وعادة ما يكون الخطأ أقل من ذلك بكثير، لأن الميل الأقصى لا يستعمل، عادة، كما أن الميل نادرا ما يشمل جميع مسافة النقل بالسيور. وهذا العامل له أهمية خاصة عند حساب مقاومة الاحتكاك للسيور الفارغة. وحتى في الحالات الشاذة، وذلك باستخدام أقصى ميل، فإن نسبة الخطأ تكون أقل بكثير في حالة السيور المحمّلة عند حساب الاحتكاك الكلي الفعّال. ويجب استخدام الطول الفعلي للسير في حالة السيور المائلة الفارغة عند الحاجة للوصول إلى حلول أكثر دقة.

ولذا، فإن قوة مقاومة الدفع أو قوة الاحتكاك لحركة سير فارغ تساوي حاصل ضرب طول السير في وزن أجزائه المتحركة (السير والبكرات) في معامل مقاومة الاحتكاك. ويمكن التعبير عن ذلك رياضيا باستخدام معادلة قوديير (Goodyear) التالية [$R_e = CQ(L+L_0)$] حيث (R_e) هي المقاومة الكلية لسير فارغ بالرطل، و (C) هو متوسط معامل الاحتكاك. [١٢] وتتكون قوة مقاومة الدفع من عدة مكونات، حيث تشكل مقاومة البكرات السائبة مابين ٢٠٪ و ٣٠٪ تقريبا، وتمثل مقاومة الاحتكاك للسير والبكرات الأخرى نحو ٣٠٪، في حين يشكل الاحتكاك الداخلي لأجزاء الحمولة مابين ٤٠٪ و ٥٠٪ من المقاومة الكلية أثناء حركتها فوق السير.

وفيما يلي قيم المعامل (C) حسب تقييم قوديير:

١ - C = ٠,٠٣ للأجهزة المُزلّقة (المضادة للاحتكاك والمخففة له) الموضوعة على منشئات مؤقتة، أو متنقلة، أو مصفوفة صفاً غير منظّم.

٢ - C = ٠,٠٢٢ للبكرات المزلّقة عالية الجودة الموضوعة على منشآت ثابتة، أو غيرها من المنشئات الجيدة الصّف.

٣ - C = ٠,٠١٢ للسيور في المجموعة الثانية ولكن بوجود ميول تتطلب كبح السير عند حركته محمّلا، وذلك لمنع رجوعه للوراء بسبب تأثير الجاذبية.

و (Q) هو وزن الأجزاء المتحركة لكل قدم من طول السير من مركز البكرة الدافعة إلى مركز البكرة الساحبة بما في ذلك وزن السير، ومتوسط وزن البكرات السائبة محسوبة لكل قدم طولي من السير. ويمكن حساب قيمة (Q) بدقة باستخدام المعادلة

$$Q = 2B + W_1/L_1 + W_2/L_2$$

حيث (B) هو وزن السير مقاسا بالرطل لكل قدم طولي، و (W_1) هو وزن الأجزاء الدوارة الحاملة للبكرات السائبة (العلوية)، و (W_2) هو وزن الأجزاء الدوارة الحاملة للبكرات الراجعة (السفلية)، في حين تمثل (L_1) و (L_2) المسافات البينية للبكرات العلوية والبكرات السفلية، على التوالي. ويمكن استخدام القيم الموجودة في الجدول (٢ , ٤) لتسهيل الحسابات. وهذه القيم مبنية على أساس استخدام بكرات قطرها ٥ بوصات (٩ , ١٢سم) لجميع السيور

---

(١١) *Handbook of Belting - Conveyors and Elevators,* Section 6, The Goodyear Tire and Rubber Company, Akron, Ohio, 1953, pp. 67-107.

(١٢) المرجع السابق نفسه.

التي عرضها أقل من ٤٢ بوصة (١٠٦,٧ سم)، وأخرى قطرها ٦ بوصات (١٥,٢ سم) للسيور الأكثر عرضا، والمسافة البينية بين البكرات هي ١٠ أقدام (٣,٠٥ متر) للبكرات الراجعة، مابين ٣-٤ أقدام (٠,٩ إلى ١,٢ متر) للبكرات السائبة. والرمز (L) هو طول الجزء الأفقي من السير بالقدم الذي يقاس من مركز البكرة الأمامية حتى مركز البكرة الخلفية، كما تمثل (L) أيضا، الإسقاط الأفقي للسيور المائلة سواء كانت حركتها إلى أعلى أم إلى الأسفل. وتمثل (L_0) «مسافة» إضافية تستخدم لتأخذ في الاعتبار تأثير الاحتكاك الدائم الذي يسمى، عادة، بالاحتكاك الطرفي، بغض النظر عن طول السير. ولمعرفة قيم (L_0) النسبية فإن قيمة المقابلة لقيم المعامل (C) الثلاث المعطاة أعلاه تساوي مابين ١٥٠ و ٢٥٠ للقيمة الأولى، ومابين ٢٠٠ و ١,٠٠٠ للقيمة الثانية، و ٤٧٥ لقيمة المعامل (C) الثالثة. وتستخدم القيم الأعلى عند إجراء حسابات الشد للسير الفارغ، فقط، حيث إن تلك الحسابات ضرورية لتصميم بعض السيور، كما في حالة السيور النازلة بميول متجددة بعض الشيء.

الجدول (٤,٢): متوسط قيم Q للسيور الرفالقية.(أ)

عرض السير (بوصة)	عرض السير (سنتيمتر)	Q (رطل)	Q (كغم)	عرض السير (بوصة)	عرض السير (سنتيمتر)	Q (رطل)	Q (كغم)
١٤	٣٥,٦	١٣	٥,٩	٣٦	٩١,٤	٣٩	١٧,٧
١٦	٤٠,٦	١٤	٦,٤	٤٢	١٠٦,٧	٥٢	٢٣,٦
١٨	٤٥,٧	١٦	٧,٣	٤٨	١٢٦,٩	٦١	٢٧,٧
٢٠	٥٠,٨	١٨	٨,٢	٥٤	١٣٧,٢	٧١	٣٢,٢
٢٤	٦١,٠	٢١	٩,٥	٦٠	١٥٢,٤	٨٥	٣٨,٦
٣٠	٧٦,٢	٣١	١٤,١				

(أ) المرجع السابق عند علامة الهامش رقم (١١)، ص ٦٨.

أما المقاومة الإضافية الناتجة عن وزن الحمولة، فتحسب بالرطل لكل قدم طولي من السير كالتالي [$2000T/(60S)$]، حيث (T) هو الوزن المحمول بالطن في الساعة الواحدة (طن/ ساعة)، و (S) هو سرعة الانتقال بالقدم/ دقيقة. ويمكن تبسيط هذه المعادلة إلى [$100T/(3S)$]. وبذلك تصبح المقاومة الكلية للسير المحمل كالتالي:

$$R_L = C\left(Q + 100\ T/3S\right)\left(L + L_0\right)$$

ويجب ملاحظة أن هذه المعادلة لا تحتوي على متغيرات سوى وزن السير وطوله، إذ يفترض أن عرض السير وسرعته ثابتان للمنشأة الواحدة. وفي حالة نقل كمية محددة من الحمولة في الساعة (T)، فإن المقاومة الكلية للسير تقل مع زيادة سرعته، ويعود ذلك إلى أن زيادة سرعة السير مع بقاء الكمية (T) ثابتة يعني أن نصيب القدم

الطولي للسير من الحمولة في كل دورة يقل وبالتالي، تقل المقاومة الكلية. ولو ثبتنا نصيب القدم الطولي من الحمولة فإن الكمية (T) تزيد بزيادة السرعة ولكن المقاومة الكلية تبقى ثابتة بغض النظر عن السرعة. وتساوي وحدة المقاومة للسيّر المحمّل مقاسة بالرطل لكل رطل من الحمولة حاصل قسمة المقاومة الكلية (R_L) على المقدار $\left[\left(Q+\frac{100T}{3S}\right) \times L\right]$.

مثال توضيحي

هناك سير متحرك عرضه ٤٢ بوصة وطوله ١٢٠٠ قدم، موضوع أفقياً ويدور بسرعة ٧٠٠قدم/ دقيقة لينقل ١٢٠٠ طن/ ساعة من الحمولة. احسب مقدار المقاومة الكلية ووحدة المقاومة التي يجب أن يتغلب عليها السير عند حركته: (أ) فارغا، (ب) محملا.

١ - قيمة Q = ٥٢ رطلاً، من الجدول (٢, ٤) لسير عرضه ٤٢ بوصة، وقيمة معامل قوديير للاحتكاك (C) تساوي ٠٢٢, ٠ (للمنشئات الثابتة)، والطول المكافئ للاحتكاك الطرفي (L_o) يساوي ٢٠٠.

٢ - بالنسبة للسير الفارغ، فإن المقاومة الكلية تساوي (R_e) فقط، وتحسب باستخدام المعادلة [$R_e = CQ\,(L + L_o)$] كالتالي:

R_e = ٠,٠٢٢ × ٥٢ × (١٢٠٠+٢٠٠) = ١٦٠١,٦رطل (٧٢٧,١كغم)

٣ - وحدة المقاومة للسير الفارغ تساوي حاصل قسمة (R_e) على وزن السير وملحقاته بالطن:

وحدة المقاومة = ١٦٠١,٦ ÷ $\left(\frac{١٢٠٠ \times ٥٢}{٢٠٠٠}\right)$ = ٥١,٣ رطل/ طن (٢٣,٣كغم/ طن)

٤ - بالنسبة للسير المحمّل، فإن المقاومة الكلية هي (R_L)، والحمولة لكل قدم طولي للسير هي ($100T/3S$). وتحسب قيمة (R_L) باستخدام المعادلة $\left[R_L = C\left(Q+\frac{100T}{3S}\right)(L+Lo)\right]$ كالتالي:

R_L = ٠,٠٢٢ $\left(٥٢ + \frac{١٢٠٠ \times ١٠٠}{٧٠٠ \times ٣}\right)$ (١٢٠٠ + ٢٠٠)

R_L = ٣٣٦١,٦ رطل (١٥٢٦,٢ كغم)

٥ - وحدة المقاومة للسير المحمّل تساوي حاصل قسمة (R_L) على المقدار $\left[\left(Q+\frac{100T}{3S}\right) \times L\right]$:

وحدة المقاومة = ٣٣٦١,٦ ÷ $\left(٥٢ + \frac{١٢٠٠ \times ١٠٠}{٧٠٠ \times ٣}\right)\left(\frac{١٢٠٠}{٢٠٠٠}\right)$، حيث استخدمنا تحويل الرطل إلى طن بالقسمة على ٢٠٠٠.

وحدة المقاومة = ٣,٥١ رطل/ طن (٣,٢٣كغم/ طن)، ويلاحظ أن وحدة المقاومة لم تتغير تغيراً ملحوظاً عند التحميل.

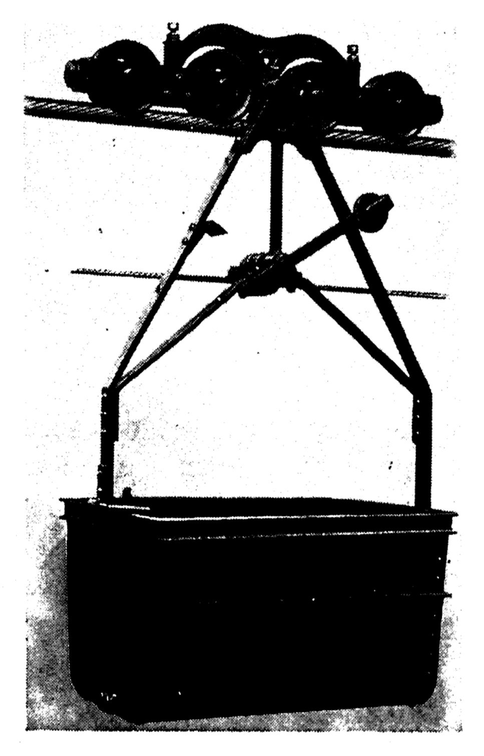
الناقل الهوائي Aerial Tramway: يتكون النوع الأكثر انتشارا من الناقلات الهوائية للمسافات الطويلة، والمسمى بالأسلاك أو الحبال المعلّقة، من حامل متحرك محمول على عجلات صغيرة محزوزة أو مخدّدة تسير على أسلاك ثابتة. ويتعلق بهذا القرص عربات تشبه الدلو تُحرّك العربات بقوة دافعة تأتي من أسلاك موازية متحركة عن طريق ذراع، أو بوساطة مقبض ينغلق ذاتيا مع الاحتكاك ويتعلق بالسلك المتحرك بإحكام. ويستخدم سلكان آخران مشابهان لإعادة العربات مرة أخرى. انظر الشكل (٤,١٦).

وتتكون مقاومات الجرّ التي يتعرض لها الناقل الهوائي من مقاومة الاحتكاك الناجم عن حركة العجلات المحزوزة على السلك الثابت، واحتكاك مثبتات العجلات المحزوزة مع بعضها في الحامل المتحرك، ومقاومة الهواء، ومقاومة احتكاك سلك الشدّ عند مروره فوق العجلات المحزوزة في الأبراج الوسطية والمحطات الزاوية وفوق البكرات الدافعة في المحطات الطرفية. وتعتمد المقاومة بين عجلات الحامل المتحرك والسلك على معامل الاحتكاك والوزن، وعادة ما تغفل هذه المقاومة. وكذلك، فإن مقاومة مثبتات العجلات في الحامل المتحرك تعتمد، أيضا، على الوزن ومعامل احتكاك أسطح الارتكاز والذي يأخذ، عادة، القيمة ٠,٠٢ للأجزاء الأفقية والقيمة ٠,٠١ للأجزاء الدائرية. كما توجد، أحيانا، مقاومة التأرجح الجانبي وذلك عند هبوب الرياح. وبالرغم من وجود مقاومة الهواء، فإنها عادة ما تُغفل نظرا للسرعة البطيئة لحركة العربات مع صغر مساحة العربات. وتساوي المقاومة الكلية التي يجب التغلب عليها حاصل طرح قوة الشد في الجزء المشدود من السلك (T) ناقصا قوة الشد في الجانب المرتخي (S). وبما أن شكل السلك يكون منحنيا نظرا لتعليق طرفيه، فإن العربات تسير دائما على سلك مائل بدرجة أو بأخرى مما يؤدي إلى وجود كميات من مقاومة الميول.

مقاومة الميول Grade Resistance: تعد القدرة على التغلب على الارتفاعات والتغير في المناسيب عاملا مهما ومؤثرا في تكلفة التشغيل. وسنناقش تأثير ذلك لخطوط الأنابيب والسيور المتحركة والطائرات في الفصل الخامس، وللممرات المائية في الفصل السادس. أما السكك الحديدية والطرق فيظهر أثر ذلك على شكل مقاومة ميل أو تحدّر الطريق.

ويمكن تعريف درجة الميل على أنها معدل التغير في الميل أو التحدّر، وبمعنى آخر، فهي معدل الارتفاع الرأسي بالمتر (أو القدم) لكل ١٠٠ متر (أو قدم) من المسافة الأفقية. إن تأثير درجة الميل على تكاليف الإنشاء والتشغيل بأنظمة النقل كثيرا ما يحد من مستوى أدائها. وتقدر مقاومة الميل بـ ٢٠ رطلا لكل طن من وزن القطار أو المركبة لكل واحد بالمائة من ميل الطريق، وهذه المقاومة يجب أن يتغلب عليها جهد الجرّ للقاطرة أو لمحرك المركبة.

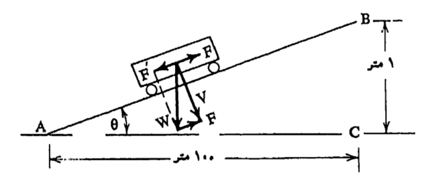
لنفرض أن لدينا سيارة تزن طنا واحدا (٢٠٠٠ رطل) أي أن W = طن واحد، وتسير على الطريق (AB) بميل قدره ١٪. انظر الشكل (٤,١٧). ويمكن تحليل وزن السيارة (W) الذي يتجه عموديا إلى الأسفل إلى مركبتين،



الشكل (١٦,٤). عربة هوائية معلقة.

(Wilbur G. Hudson, *Conveyors and Related Equipment,* 3rd Edition, Wiley, New York, 1954, p. 279, Figure 11.7.)

إحداهما (V) عمودية على سطح الطريق، والأخرى (F') التي تقوم بدفع السيارة إلى الانحدار. وللتغلب على تأثير الميل، يجب بذل قوة (F) مساوية للقوة (F') وفي الاتجاه المعاكس لها وذلك بوساطة القوة الدافعة لمحرك السيارة أو الشاحنة أو بوساطة القاطرة بالنسبة للسكك الحديدية. ويمكن الحصول على تناسب بين مثلثات القوى ومثلثات المسافات مع افتراض أن $AB = AC$ (بمعنى أن $\cos\theta$ تساوي واحد تقريبا). أي أن $\frac{F}{2000} = \frac{1}{100}$، ومنها يمكن حساب ($F$) = ٢٠ رطلا لكل طن لكل ١٪ من ميل الطريق. وإذا استعملنا وحدات النظام المتري، فإن (F) = ٩,١ كلغ/ طن، أو (F) = ١٠ كلغ/ طن متري لكل ١٪ من الميل. ومثال ذلك تعرّضُ شاحنة محملة تزن ١٥ طنا تسير على طريق مائل بمعدل ٤٪ إلى مقاومة كلية لميل الطريق مقدارها ١٥ × ٤ × ٢٠ = ١٢٠٠ رطل (٥٥٤,٣ كغم). ويجب إضافة هذه المقاومة إلى مقاومة حواف الإطارات وأي من المقاومات الأخرى الموجودة، وذلك للحصول على المقاومة الإجمالية لحركة الشاحنة. وسنبحث تأثير مقاومة ميل الطريق على تكاليف التشغيل والموقع في الفصل الخامس، عند مناقشة متطلبات قدرة الأحصنة للمركبات.



الشكل (٤,١٧). اشتقاق وحدة مقاومة الميل.

مقاومة انحناء الطريق Curve Resistance: تتعرض المركبات ذات العجلات المشفهة إلى مقاومات إضافية في المنحنيات. وتحليل عوامل المقاومة نتيجة انحناء الطريق عملية معقدة ومن الصعب فهمها بالتفصيل. وبالنسبة لمعدات السكك الحديدية، فهي تشمل ضغط الشفة على القضبان، والانزلاق الجانبي على طول رأس القضبان. وقد أجريت تجارب عديدة على مقاومة الانحناء في السكك الحديدية آلت نتائجها إلى اعتبار أن قيمة هذه المقاومة تساوي ٠,٨٠ رطل/ طن/ درجة انحناء (٠,٣٦ كغم/ طن/ درجة انحناء). وعلى ذلك، فإن مقاومة الانحناء لقطار يزن ٤٠٠٠ طن ويسير في منحنى درجة انحنائه ٣ درجات ستكون ٤٠٠٠ × ٠,٨ × ٣ = ٩٦٠٠ رطل (٤٣٥٨ كغم).

ويمكن التعبير عن مقاومة الانحناء بدرجة الميل المكافئة وذلك بقسمة مقاومة الانحناء لدرجة انحناء واحدة على مقاومة الميل لدرجة ميل واحدة، والتي تساوي ٢٠ رطلا/ طن، وضرب الناتج بعدد درجات الانحناء. فمثلا، الميل المكافئ لمنحنى درجة انحنائه ٥ درجات سيكون ٥ × $\frac{٠,٨}{٢٠}$ = ٥ × ٠,٠٤ = ٠,٢٠ في المائة. ومن ثم،

تُضاف مقاومة هذا الميل المكافئ إلى مقاومة الميل الناتجة من ميل الطريق أو التحدر الذي يقع فيه المنحنى، ويعبر عن هاتين المقاومتين بوحدات مقاومة الميل. ويمكن تطبيق ما سبق على أنظمة القطارات الأحادية القضبان التي تسير على العجلات الحديدية المشفهة المعروفة. أما بالنسبة لأنظمة النقل الأخرى، فإن مقاومة الانحناء تكون قليلة جدا وعادة ما تُغفل. ويمكن الرجوع إلى الفصل السابع عشر لدراسة مقاومة الانزلاق.

خلاصـــة

SUMMARY

لكل واسطة نقل خصائص تقنية ذاتية متأصّلة بها، ولها تأثيرات مهمة على مدى منفعة واسطة النقل وتكلفتها. وأهم هذه الخصائص هي التي تتعلق بدرجات حرية التحرك ومقدارها والإرشاد والدعم والاستقرار والمقاومة لقوة الدفع للمركبة. ولمقاومة قوة الدفع أهمية خاصة لتأثيرها المباشر على تكاليف التشغيل. ويمكن لمقاومة ميل الطريق أن تشكل جزءا كبيرا من مقاومة قوة الدفع. ويبين الشكل (١٨ , ٤) المدى الذي يمكن أن تأخذه القيم النمطية للمقاومة، أو لقوة جر وسائط النقل الأكثر شيوعا.

أسئلـــة للدراســـة

QUESTIONS FOR STUDY

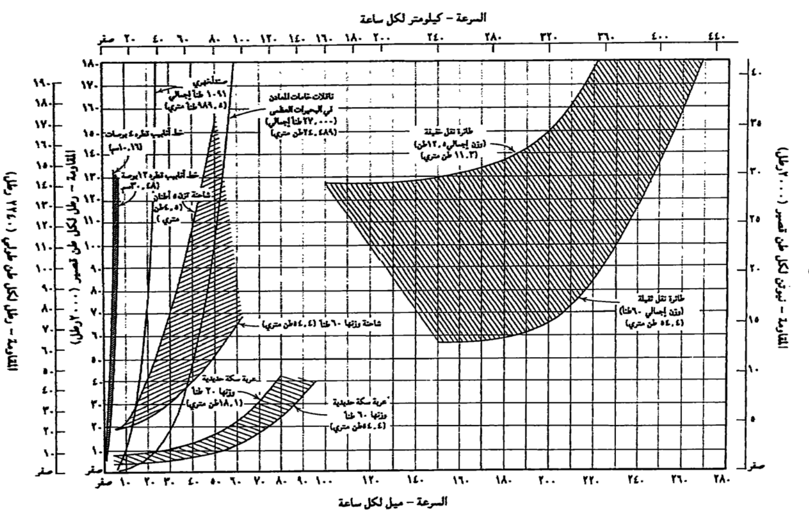
١ - أوجد المعامل الحجمي لسفينة تنقل المواد الخام في البحيرات العظمى، طولها ٦٠٠ قدم وعرضها ٦٥ قدما وعمق غاطسها عند أقصى حمولة ٢٤ قدما. وتزن السفينة مع الوقود والطاقم ٧,٠٠٠ طن، وتحمل ١٨٠٠٠ طن من البضائع.

٢ - سفينة تنقل المواد السائبة في البحيرات العظمى طولها ٦٢٠ قدما، وعرضها ٧٠ قدما، ويصل عمق غاطسها عند تحميلها بـ ١٩٧٠٠ طن من البضائع إلى ٢٥ قدما، فإذا كان المعامل الحجمي يساوي ٠,٨٩١، كم وزن السفينة بمعداتها ووقودها ولكن بدون البضاعة؟

٣ - ما مساحة الجناح اللازمة لدعم طائرة تطير بسرعة ٢٠٠ ميل/ ساعة، وزاوية هبوب قدرها ٨ درجات، وتحلق على ارتفاع ١٠٠٠٠ قدم (كثافة الهواء = ٠,٠٠١٧٥٦)؟ هل مساحة الجناح هذه مناسبة عند الهبوط بسرعة ٨٠ ميلاً/ ساعة، مع افتراض أقصى زاوية هبوب آمنة؟

٤ - باستخدام معادلة ديفس، احسب وارسم وحدة المقاومة والمقاومة الكلية للسرعات من ١٠ إلى ٤٠ ميلاً/ ساعة للحالات التالية: (أ) عربة فارغة لها ٨ عجلات وتزن ٢٠ طنا، (ب) عربة محملة لها ٨ عجلات وتزن ٦٠ طنا.

٥ - احسب وارسم منحنيات المقاومة للمقارنة بين شاحنة تزن ١٠ أطنان ومساحة مقطعها ٩٦ قدماً مربعاً، وسيارة ركاب تزن ١٥٠٠ رطل ومساحة مقطعها ٣٠ قدماً مربعاً، وذلك للسرعات بين ١٠ و ٦٠ ميلاً/ ساعة. عند أي السرعات تصبح الانسيابية مهمة لكل منهما؟



الشكل (٤,١٨). المدى النموذجي لقيم المقاومة.

٦ - ما وحدة المقاومة لزورق قطر (يعمل بالدفع) طوله ٢٠٠ قدم وعرضه ٤٥ قدماً، وعمقه ١٢ قدماً، بغاطس قدره ٩ أقدام ومعامله الحجمي ٠,٨٧، للسرعات من ١٠ إلى ٤٠ ميلاً/ ساعة؟ افرض أن الارتفاع الكلي للسفينة فوق سطح الماء ٣٠ قدما.

٧ - ما المقاومة الكلية لمقطورة تتكون من ١٦ صندلاً تسير بسرعة ٨ أميال/ ساعة، إذا كان طول كل سفينة ٢٣٠ قدما، وعرضها ٣٥ قدما، ومعاملها الحجمي ٠,٩٥، ووزنها الفارغ ٤٧٢ طنا، ولها غاطس محمّل (يقابل المعامل الحجمي المذكور) قدره ٩ أقدام ويبرز ٥ أقدام فوق الماء؟

٨ - على خط أنابيب للزيت الخام قطره ٨ بوصات أن يحمل ٨٠٠ برميل في الساعة. فإذا كانت قوة ضغط الضخ لمحطة الضخ هي ٦٠٠ رطل لكل بوصة مربعة، كم عدد المحطات اللازمة لخط مستقيم طوله ٢٠٠ ميل؟ علما بأن الكثافة النوعية للزيت هي ٣٢ درجة API.

٩ - قارن بين وحدة المقاومة لسير متحرك عرضه ٤٢ بوصة، وطوله ١٦٠٠ قدم، ويزود بالحمولة بمعدلات متفاوتة كي يصبح نصيب القدم الطولي للسير من الحمولة ثابتا ويساوي ٦٠ رطلا، وذلك عند دورانه بسرعة: (أ) ٦٠٠ قدم لكل دقيقة، (ب) ٨٠٠ قدم لكل دقيقة.

اعمل المقارنة نفسها ولكن عندما يزوّد السير بحمولة ثابتة في الساعة قدرها ١٠٨٠ طنا بغض النظر عن سرعة السير.

١٠ - احسب المقاومة لكل واسطة من وسائط النقل السابقة التي تشمل عربات السكك الحديدية والسيارات والشاحنات والسفن وزوارق القطر (في المسائل ٢، ٤، ٥، ٦ و٧) وذلك عند سرعة ٦٠ ميلاً/ ساعة. وضح إجابتك بالرسم البياني.

قـــراءات مقترحـــة
SUGGESTED READINGS

1. W.J. Davis, Jr., Tractive Resistance of Electric Locomotives and Cars, *General Electric Review*, Vol. 29, October 1926, pp. 685–708.
2. E. C. Schmidt, Freight Train Resistance, Its Relation to Average Car Weight, *University of Illinois Engineering Experiment Station Bulletin 43*, Urbana, 1910.
3. A. I. Totten, Resistance of Lightweight Passenger Trains, *Railway Age*, July 17, 1937.
4. E. C. Schmidt and F. W. Marquis, The Effects of Cold Weather upon Train Resistance and Tonnage Ratings, *University of Illinois Engineering Experiment Station Bulletin 59*, Urbana, 1912.
5. M. O. Starr, *A Comparative Analysis of Resistance to Motion in Commercial Transportation*, Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Mechanical Engineering. University of Illinois, 1945.
6. Train Resistance of Freight Trains Under Various Conditions of Loading and Speed, Report of Committee 16, *Proceedings of the A.R.E.A.*, American Railway Engineering Association, Vol. 43, 1942, pp. 51–71.

7. R. G. Paustian, Tractive Resistance as Related to Roadway Surfaces and Motor Vehicle Operation, *Iowa Engineering Experiment Station Bulletin 119,* Ames, 1934.
8. E. G. McKibben and J. B. Davidson, Effect of Inflation Pressure on the Rolling Resistance of Pneumatic Implement Tires, *Agricultural Engineering,* Vol. 21, No. 1, 1940, pp. 25–26.
9. A. M. Wolf, Practical Tractive Ability Methods, *S.A.E. Journal,* Vol. 27, No. 6, December 1930, pp. 655–664.
10. D. W. Taylor, *The Speed and Power of Ships,* Wiley, New York, 1910.
11. C. D. Perkins and R. E. Hage, *Airplane Performance, Stability, and Control,* Wiley, New York, 1949.
12. *Handbook of Belting—Conveyor and Elevator;* the Goodyear Tie and Rubber Co., Akron, Ohio, 1953, Chapters 2, 4, 5.
13. *Oil Pipe Line Transportation Practices,* E L. Davis and Charles Cyrus, editors, issued by the Universty of Texas Division of Extension and the State Board for Vocational Education, Trade, and Industrial Division, 1944, Chapter XIII.
14. W. G. Helzel, Pipeline Section Flow and Friction in Pipelines, *Oil and Gas Journal,* Tulsa, Oklahoma, June 5, 1930, p. T-223.
15. Bernard Etkin, *Dynamics of Atomospheric Flight,* Wiley, New York, 1972.
16. Andrew G. Hammitt, *The Aerodynamics of High Speed Ground Transportation,* Western Periodicals Company, North Hollywood, California, 1973.
17. "Vehicle Operating Characteristics—Chapter 2," *Transporation and Traffic Engineering Handbook,* John Baerwald, Editor, Institute of Traffic Engineers, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1976.

الفصل الخامس

قوة الدفع وقدرة الأحصنة والارتفاع

PROPULSIVE FORCE, HORSEPOWER, AND ELEVATION

قـــوة الدفـــع وقـــدرة الأحصنـــة

PROPULSIVE FORCE AND HORSEPOWER

قدرة الأحصنة Horsepower: يجب توافر القوة الدافعة لوسائل النقل للتغلب على المقاومات المختلفة، مثل مقاومة الجر أو مقاومة القطار، ومقاومة حواف الإطارات أو مقاومة الطريق، ومقاومة السحب والمقاومة السطحية ومقاومة الأمواج والمقاومات المتخلّفة في السفن والطائرات، ومقاومة البكرات والسير في السيور المتحركة ومقاومة الجريان في خطوط الأنابيب. كما يجب على الجهد الدافع لوحدة الدفع أن يتغلب على مقاومة ميل الطريق أو الارتفاع، أي تأثير قوة الجاذبية في الطريق المائل أو المرتفع.

ويجب توفير قوة الدفع هذه بمعدلات معينة للتغلب على جميع مقاومات الدفع، وبذلك يصبح المطلوب هو توفير قدرة الأحصنة اللازمة لذلك. وتعرف قدرة الأحصنة بأنها معدل بذل الشغل، أو بدقة أكثر هي حاصل ضرب القوة في المسافة التي تم فيها تسليط القوة خلال وحدة زمنية واحدة مقسوما على وحدة الشغل المكافئة لقدرة حصان واحد للوحدة الزمنية التي نحن بصددها. ومن هذا التعريف يمكن حساب $\left[hp = F \times \frac{v}{550}\right]$ حيث إن v = السرعة بالقدم لكل ثانية، أي المسافة التي تم اجتيازها في ثانية واحدة، وأن (550) تمثل معامل تحويل الوحدات من رطل-قدم/ ثانية إلى قدرة حصان واحد. وبالمثل، يمكن الحصول على التالي:

$hp = F \times \frac{v'}{33,000}$ = حيث v' = السرعة بالقدم لكل دقيقة

$hp = F \times \frac{V}{375}$ = حيث V = السرعة بالميل لكل ساعة

$hp = F \times \frac{V'}{325.6}$ = حيث V' = السرعة بالعقدة البحرية

$hp_m = F \times \frac{V}{270}$ = حيث V = السرعة بالكيلومتر في الساعة ، و(F) بالكيلوغرام ، و (hp_m) هي قدرة الحصان بالقياس المتري . وتؤخذ قدرة الحصان بالقياس المتري على أنها قوة ٧٥ كلغ-متر في الثانية . وإذا استعملنا النظام الإنجليزي ، فتكون قدرة حصان واحد بالقياس المتري = ٥٤٢,٤ رطل-قدم في الثانية وقدرة الحصان بالنظام الإنجليزي $= \frac{٥٥٠}{٥٤٢,٤}$ = ١,٠١٤ قدرة حصان بالقياس المتري . وبالعكس ، فإن قدرة حصان واحد بالقياس المتري $= \frac{٥٤٢,٤}{٥٥٠}$ = ٠,٩٨٦ قدرة حصان بالنظام الإنجليزي . ونستنتج أن قدرة الحصان في كلا النظامين متساوية تقريبا . ومن جهة أخرى ، فإن نظام الوحدات العالمية (SI) يستعمل الواط مقياساً للقدرة حيث إن قدرة حصان واحد = ٧٤٦ واط .

وفي المعادلات السابقة ، استخدم الرمز (hp) لقدرة الأحصنة ، والرمز (F) للقوة الدافعة أو جهد الجرّ أو عزوم الالتواء أو الدفع أوقوة الضخ ، كما يمكن أن تكون مساوية لقوة المقاومة أو مقاومة الجر أو مقاومة القطار أو مقاومة الطريق أو حواف الإطارات أو مقاومة السفينة أو مقاومة السحب أو مقاومة الجريان . . . إلخ ، وذلك عند اعتبار قدرة الأحصنة اللازمة للتغلب على أي من هذه المقاومات .

وتعتمد قوة الدفع وقوة المقاومة على السرعة عند مقدار محدد من قدرة الأحصنة ، وبالعكس . ويجب أن يكون المحرك الرئيسي أو وحدة الدفع ، قادرا (أو قادرة) على تسليط قوة كافية عند سرعة معينة للتغلب على جميع قوى المقاومة . وفي الأقل ، يجب أن تكون القوتان متساويتين للحفاظ على السرعة التشغيلية المطلوبة . وفي أغلب الأحوال ، يجب أن تكون القوة الدافعة أكبر من قوى المقاومة وذلك لتوفير قوة للتسارع ، وكذلك كاحتياط عند الحاجة .

المحركات الأساسية Prime Movers. يعرف المحرك الأساسي بأنه جهاز يحوّل الطاقة الكامنة في الوقود إلى طاقة آلية قادرة على أداء الشغل . ولقد ارتبطت أنواع معينة من المحركات الأساسية والوقود بواسطة نقل معينة أو بأخرى وبذا أصبحت جزءا من الخصائص التقنية-الاقتصادية لواسطة النقل هذه . وبالطبع ، فإن هذا لا يمنع من وجود أنماط غير تقليدية من الارتباطات بين المحركات ووسائط النقل .

وقد كان الفحم مصدرا شائعا للوقود والطاقة عبر السنين ، حيث يُنْتج البخار الذي يدير المحركات الترددّية ، والتوربينات الدوّارة . ولكن اكتشاف النفط واستعمال البنزين والمشتقات النفطية الأخرى محروقات في المحركات ذات الاحتراق الداخلي والمحركات النفاثة أدى إلى تخفيف الاعتماد على الفحم والبخار ، وحتى الاستغناء عنهما كمصدرين للطاقة . وقد أدت الطاقة المائية التي تقوم عادة بإدارة محركات توربينية دورا مهما عبر السنين . وفي

العقود الأخيرة طُوّرت مصادر جديدة للطاقة، كالطاقة الذرية والشمسية والحرارية وطاقة الرياح والوقود الصناعي وغيرها، إذ تستخدم بعض هذه المصادر حاليا في دفع الصواريخ ودعمها بقوة هائلة لم تكن تتصور في العقود السابقة. وقد فرضت الحاجة إلى التخفيف من الآثار السيئة للتلوث وغازات الاحتراق المنبعثة من عوادم النقل وسائله والنقص المتزايد لإمدادات الوقود النفطي، إلى تركيز الأبحاث والاهتمام بتطوير أنواع جديدة من المحركات الأساسية التي تستعمل مصادر مبتكرة للطاقة. وقد عاد الاهتمام بالفحم مجددا مصدرا للطاقة.

المحركات البخارية Steam Engines. حتى وقت قريب، كان البخار هو المصدر الشائع للقوة في معظم أنظمة النقل - من سفن وسكك حديدية ومحطات ضخ - مما سهل تصميم تلك الأنظمة وإنشاءها وصيانتها. ويتكون أبسط أنواع المحركات البخارية من أسطوانة أو عدة أسطوانات تحّرك مكبساً متصلاً بعجلات أو عمود الحركة. كما يحتوي على غلاية لتوليد البخار للاسطوانات ومرجل لتسخين الغلاية، كما يمكن إضافة بعض الأجهزة الأخرى، مثل المكثفات وغيرها لتحسين كفاءة استخدام الوقود. وعادة ما يكون المحرك البخاري ثقيلا وكبير الحجم وأحيانا يصدر أوساخا وأصواتا مزعجة، وله مشكلات تتعلق بتلوث الهواء والتزود بالماء والتخلص من رماد غلاية البخار. ويسمح تصميم المحركات البخارية المحتفظ عادة بتجاوز قدرته التصميمية نسبة تتراوح بين ١٠٪ و ٢٥٪، وحتى نقطة انهياره وتوقفه عن العمل، ولكن دون تأثر معداته وعطبها. ويرتفع منحنى القدرة الحصانية للمحرك البخاري ببطء من درجة الصفر عند ابتدائه إلى أقصى قدر له (التي يحتفظ بها عند هذا الحدّ لفترة طويلة نسبيا)، مما يحد من القدرة على التسارع عند السرعات المنخفضة. كما أن مرونة التحكم بتلك المحركات قليلة، إذ إن نقل القدرة إلى العجلات الدافعة يتسبب في زيادة الاهتزازات والصدمات الحركية للأجزاء المتردّدة من مجموعة عمود الإدارة في القطارات. ولا تظهر هذه المشكلة في المحركات البخارية التوربينية في السفن ومحطات الضخ وبعض القطارات التجريبية، ولكن نظام التروس المعقد المستعمل لنقل الحركة الابتدائية المرتفعة لعمود الإدارة إلى المحاور الدافعة أو الرقّاصات يزيد تكاليف التصنيع والصيانة. أما استخدام المحركات التوربينية البخارية في المحطات المركزية لتوليد الطاقة الكهربائية اللازمة لأنظمة القطارات والنقل العام السريع فيمتاز بمرونته واقتصادية تشغيله. ولا يزال التطوير جاريا لتوربينات بخارية صغيرة وخفيفة لاستعمالها في تحريك مولّدات الطاقة الكهربائية اللازمة لمحركات الجر في القاطرات.

محرك الاحتراق الداخلي Internal Combustion Engine. أصبح محرك الاحتراق الداخلي الذي يعمل بالبنزين ويشتعل بالشرارة شائع الاستعمال في السيارات والشاحنات والحافلات بسبب بساطة تصميمه النسبي ووزنه الخفيف ومرونته ومتانة أجزائه. ويعتمد تصميم هذا المحرك على دورة من أربعة أشواط لإدخال الوقود والهواء وضغطهما وإشعالهما وتحويلهما إلى طاقة للحركة مع غازات تُطرد عن طريق العادم. وتتم جميع هذه الأشواط داخل أسطوانات المحرك التي تنقل عبر المكابس قوة ترددية إلى عمود الإدارة. أما محركات الديزل التي تشتعل بالضغط فقد لقيت استعمالا رائجا في الشاحنات وبعض السيارات وفي القاطرات بعد تطوير محرك له دورتان

فقط، مما قلل من حجمه ووزنه، وذلك بدمج عمليتي إدخال الوقود والهواء وضغطهما في شوط علوي، وعمليتي الاشتعال ونقل الطاقة والعوادم في شوط سفلي.

ويدور محرك الاحتراق الداخلي بسرعة دوران عالية تقاس بعدد الدورات في الدقيقة الواحدة. ويتعرض المحرك لارتفاع في عزوم اللي (Torque) مع ازدياد سرعة دوران عمود الإدارة. ويستمر ارتفاع عزوم اللي حتى الوصول إلى السرعة المثلى ثم يبدأ عزم اللي في الانخفاض بعدها. انظر الشكل (٥ , ٥). وعادة ما تكون سرعة المحرك أكبر من السرعة المطلوبة لحركة محور المركبة. ولذلك، يجب القضاء على هذا الفرق في السرعة بين سرعتي المحرك والمحور بتقليل السرعة المنقولة من المحرك إلى محور العجلات، وذلك باستخدام التروس أو ناقل الحركة أو أجهزة تحويل عزم اللي التي تسمح بالاستفادة من عزم اللي المرتفع عند سرعة المحرك المثلى على مدى كبير من سرعات حركة المركبات. وهذه الأجهزة، سواء كانت ميكانيكية أو هيدروليكية، كبيرة الحجم ومعقدة وضعيفة ولا يعتمد عليها كثيرا (كما في حركة المركبات على الطرق، مثلا، ولكنها، من جهة ثانية، برهنت على أنها أكثر عملية في المنشآت الثابتة، كمحطات الضخ أو على ظهور السفن.

ويستخدم ناقل الحركة الكهربائي في القاطرات الديزل - كهربائية. حيث يشغل محرك الديزل مولّداً للتيار المتردد مثبتاً على عمود إدارة المحرك، ويقوم هذا المولّد بتزويد محركات الجرّ بالتيار الكهربائي المباشر. وفي الواقع، فإن ناقل الحركة الكهربائي لا يعتمد على نوع المحرّك الأساسي أو مصدر الطاقة، إذ يمكن تشغيل المولّد بالمستوى نفسه باستخدام البخار أو التوربينات الغازية أو أي جهاز آخر يستطيع تدوير عمود المولّد الكهربائي.

محرك الدفع الكهربائي Electric Drive. يمتاز هذا المحرك بالتصميم الجيد والمرونة العملية خلال التشغيل. ويمكن أن تكون محطة توليد الطاقة الكهربائية، باستعمال الفحم أو الزيت أو الماء أو الطاقة الذرية، بعيدة جدا عن مكان استعمالها مصدراً للطاقة في القاطرات الكهربائية وقطارات النقل العام السريع، أو تكون محمولة في المركبة، كما في القاطرات الديزل - كهربائية أو السفن التوربين - كهربائية. وتنتفي الحاجة إلى تحويل عزوم اللي ميكانيكيا أو هيدروليكيا في هذا النوع من المحركات، مما يسمح بالاستفادة الكاملة من قدرة الأحصنة للمحرك الأساسي على مدى كبير من سرعات حركة المركبات.

وتثبت المحركات الدافعة في السفن في مؤخرة جسم السفينة للسماح باستخدام أعمدة قصيرة لإدارة الرقّاصات، في حين توضع معدات التوليد في وسط السفينة للحصول على توزيع أفضل للوزن، وتقليل عزوم الانحناء في عوارض بناء جسم السفينة. وتمتاز محركات الدفع الكهربائية بأنه لا يصدر منها أي ملوّثات للهواء.

وقد جرى استخدام محركات التيار الكهربائي المباشر المتينة، والملفوفة على التوالي، بجهد ٦٠٠ فولت، كمحركات نمطية لفترة طويلة في معدات النقل العام السريع داخل المدن، وقطارات الضواحي، وكذلك في القاطرات الديزل - كهربائية. وتمتاز هذه المحركات بالقدرة على القيام بالتسارع والتباطؤ بشكل سريع وسهل، مما ساعد على استخدامها في الحركة التي تتطلب الوقوف والتحرك المتكررين، كما هو الحال في عمليات التحويل بين السكك أو في النقل العام السريع. وكذلك تمتاز هذه المحركات بقدرتها على استيعاب الحركة الثقيلة والمحملة،

مما جعلها مفيدة في التحريك الابتدائي للقاطرات المحملة بحمولات ثقيلة، وكذلك لتسلق المرتفعات ذات الميول العالية. ويمكن تشغيل هذه المحركات الدافعة فوق طاقتها المحددة للحركة المستمرة وذلك لفترة زمنية وجيزة قبل أن يسخن المحرك ويتوقف عن العمل. ونظرا للفقد الكبير في خطوط نقل الطاقة الكهربائية، فإنه نادرا ما تستخدم محركات التيار الكهربائي المباشر في الأنظمة التي تتطلب نقل الطاقة لمسافة تتجاوز عدة كيلومترات. وبدلا من ذلك، تستخدم محركات التيار المتردد التي توفر كثيراً من خصائص محركات التيار المباشر، ولكنها أكبر حجما. وتستعمل الناقلات التي تعمل بسرعة ثابتة، مثل السيور المتحركة والمضخات والأسلاك المعلقة وغيرها، محركات الحث ذات السرعات الثابتة.

ويمكن حساب عزم اللي (T) بالرطل – قدم، الذي يولّد القوة الدافعة كالتالي:

$$T = K \phi I_a$$

حيث إن:

I_a = تيار حافظة المغناطيس بالأمبير

ϕ = قوة المجال المغناطيسي بالجاوس

K = مقدارا ثابتا يعتمد على تصميم المحرك من حيث عدد الأقطاب والمسارات واللفّات

ويمكن الحصول على عزم ليّ أكبر، وأيضا قوة دفع أكبر بتوفير تيار عال لحافظة المغناطيس. ولكن، يجب الأخذ بالاعتبار قوة الدفع الكهربائي المعاكسة إلى الخلف، والتي تتولد خلال حركة المحرك، وبذا يمكن حساب جهد الدفع الكهربائي الكلي (بالفولت) كالتالي:

$$E_t = E_a + I_a R_a$$

حيث إن:

R_a = مقاومة حافظة المغناطيس بالأوم

ويمكن تمثيل قيمة (E_a) بالمعادلة

$$E_a = K \phi n$$

حيث إن:

n = عدد دورات حافظة المغناطيس بالدقيقة

K و ϕ هما كما سبق تعريفهما.

ويصاحب الزيادة في السرعة انخفاض في تيار الحافظة المغناطيسية، وعزم اللي، والقوة الدافعة. وهذا مثال آخر على وجود مقايضة متبادلة بين قوة الجرّ والسرعة. ويجب ملاحظة أنه يمكن زيادة قيمة (E_t) التي تحدّ من قوة أي من المحركات المتصلة في مجموعة، وذلك بتغيير طريقة التوصيل من توصيل على التوالي إلى توصيل متوالي – متوازي، أو إلى توصيل متوازي كلي، أو بتغيير التيار في اللفات القطبية ولكن مع فقد مقابل في قوة الجرّ.

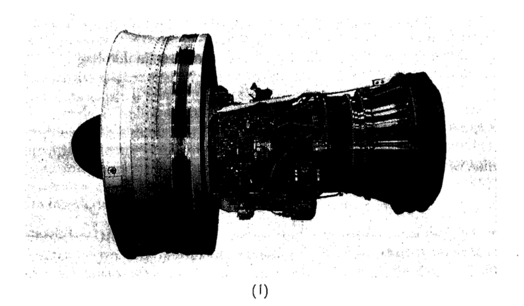
المحركات النفاثـة Jet Engines. تعمل محركات الطائرات النفاثة على أساس نظرية امتداد الطاقة. وهذا يحدث عندما يفرز المحرك كمية كبيرة من الغازات المضغوطة من مؤخرة المحرك التي تشكل، بدورها، كرد فعل، قوة دفع هائلة إلى الأمام. ويمتاز المحرك النفاث بأنه خفيف الوزن، إذ إنه يزن أقل من رطل لكل حصان واحد عن قدرته، ويستعمل وقود الديزل المعروف لتشغيله، ولا يحتاج مدة طويلة لتسخينه، ويعطي سرعات عالية جدا تبلغ سرعة الصوت أو تتجاوزها. ويتبع هذا المحرك دورة مكونة من أشواط دخول وضغط واحتراق وطرد الهواء وليس الوقود. وهذه العمليات تتبع التركيب الطولي لأجزاء المحرك، وتحدث معا، وفي الوقت نفسه، أثناء تشغيل المحرك. ويدخل الهواء بكميات كبيرة من فوهة عند مقدمة المحرك الذي يتم تصميمه انسيابيا لاستيعاب كميات كبيرة من الهواء (تصل إلى مابين ٨ و ١٠ أضعاف سعة المحرك المكبس) تحت ظروف السرعة والإرتفاع كافة. انظر الشكل (١, ٥).

ويحتوي المحرك النفاث على ضاغط محوري أو طارد التصميم يستلم الهواء ويضغطه على مرحلة واحدة أو على عدة مراحل. وتصل نسبة الضغط حتى ٥ إلى ١ في التصميم الطارد، بينما تصل للضاغط المحوري التصميم حتى ٢٤ إلى ١. وتتم إدارة العناصر المتحركة في الضاغط بوساطة عمود إدارة مركزي يحرك بالتوربين.

يدخل الهواء المضغوط والمرتفع الحرارة بعد ذلك إلى حجيرة الاحتراق حيث يتم بخّ الوقود على شكل بخّات ذرية الحجم وإشعالها بوساطة شرارة. ويتمدد الحجم المتزايد الناتج عن احتراق الوقود بعد اشتعاله ويقوم بإدارة توربين يعمل، بدوره، على إدارة الوحدة الضاغطة. أما غازات العادم الخارجة من التوربين فتطرد عبر فوهة في مؤخرة المحرك بمعدلات سرعة تبدأ قليلة نسبيا ثم تتسارع حتى تصل إلى سرعة الصوت أو تتجاوزها، وينشأ عنها ردة فعل عكسية تعمل على دفع الطائرة إلى الأمام. ويساعد التصميم الانسيابي لفوهة العادم في الحصول على أقصى كفاءة للمحرك. كما يحتوي أحد الأنواع الشائعة من المحركات النفاثة على ضاغط محوري الجريان ذي ١٧ مرحلة، ونسبة ضغط قدرها ١٧ : ١، وتوربين ذي ثلاث مراحل، وقوة دفع أمامية قدرها ١١٠٠٠ إلى ١٨٠٠٠ رطل (٤٨٩٥٠ إلى ٨٠١٠٠ نيوتن).

وهناك نوع مختلف من المحركات النفاثة يشمل المحرك النفاث المروحي، أو المحرك التوربيني المروحي، والذي يحتوي على مروحة تنتج قوة دفع أمامية إضافية بدون استهلاك وقود أكثر، وذلك بتحويل طاقة الوقود إلى ضغط بدلا من تحويلها إلى طاقة سرعة عالية. ويسمح ذلك بإقلاع الطائرات من مسافات أقل للمدرج، والتحليق بسرعات أعلى، مع كفاءة عالية لاستهلاك الوقود، وذلك في حالة الطيران الأقل من سرعة الصوت. وعلى سبيل المثال على هذا النوع من المحركات النفاثة المروحية، يولّد المحرك (JT9D) من إنتاج شركة المحركات برات ووتني (Pratt and Whitney) قوة دفع أمامية تتراوح بين ٤٢٠٠٠ و ٤٥٠٠٠ رطل (١٨٦٩٠٠ إلى ٢٠٠٢٥٠ نيوتن). وتستعمل الطائرة العملاقة بوينغ ٧٤٧ (Boeing 747) أربعة من هذا النوع من المحركات النفاثة.

كما يستهلك نوع ثالث من المحركات النفاثة، يسمى الدعامة التوربينية، معظم طاقة الغازات المتدفقة في إدارة الضاغط، وإدارة رفّاص موصول بعمود التوربين يولد قوة دفع أمامية ارتدادية بسرعة وضغط منخفضين، والتي تشكل مابين ٨٪ و ١٢٪ فقط من القوة الكلية الأساسية.



(أ)

(ب)

(أ) منظر عام.
(ب) قطاع طولي.
تبلغ نسبة التجزئة للمحرك ١,٥ وتبلغ نسبة الانضغاط ٢٢,٣ ونسبة ضغط المروحة ١,٥، والسريان الكلي للهواء ١٥٣٥ رطلا/ ثانية، كما يزن المحرك ٨٧٨٠ رطلا ويستطيع توفير قوة دفع مستمرة قدرها ٤٥٠ رطلا (٤٧,٩٠٠ رطلا عند الإقلاع وهو مبتل).

الشكل (٥,١). محرك مروحي توربيني طراز برات و وتني (Pratt & Whitney JT9D-7).

(Courtesy of Pratt & Whitney Aircraft Division of United Aircraft Corporation.)

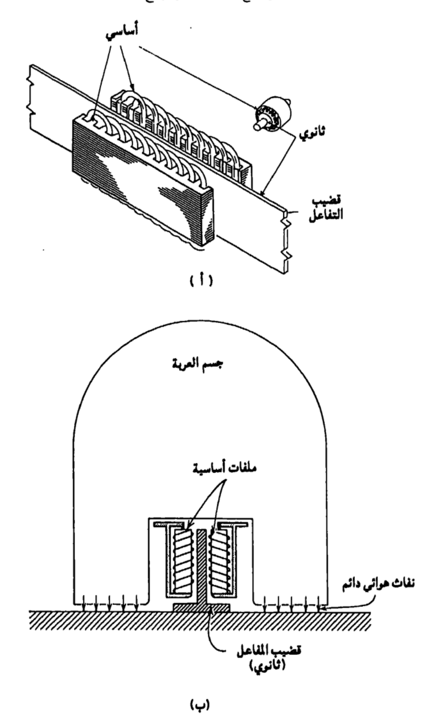
وقد جرى استخدام التوربينات الغازية لتشغيل مولّدات تولدّ الطاقة الكهربائية اللازمة لمحركات تعمل بالتيار المباشر، وملفوفة على التوالي، وتستخدم في قاطرات السكك الحديدية. ويمكن الاستشهاد بتطبيق آخر لاستعمال هذه المحركات في القطارات، حيث صممت مؤخراً قطارات توربينية ووضعت في خدمة نقل الركاب في كل من الولايات المتحدة وكندا وأوروبا. وتقلل سرعة دوران عمود الإدارة بوساطة نظام تروس إلى سرعات مناسبة عند عجلات الحركة. ويعطي المحرك الذي يزن ٣٠٠ رطل من ٤٠٠ إلى ٥٠٠ قدرة حصان. ويستخدم مابين محركين و أربعة محركات لكل عربة قاطرة.

أنواع أخرى من المحركات الأساسية Other Prime Movers Types. إن الصعوبات التي أوجدها التلوث الناتج عن استعمال النفط واحتراقه، وإدراك العالم أن النفط مورد محدود سينضب في يوم من الأيام، جعل العلماء يبحثون عن تصاميم ونظريات جديدة لقوة الدفع والحركة في السيارات. فقد طوّر محرك وانكل (Wankel)، الذي يعتمد على حركة دائرية بدلا من حركة الأجزاء المترددة التقليدية، ويقوم بإحراق الوقود إحراقا كاملا. وقد جرى استعماله فعليا في صناعة السيارات الحديثة. وكذلك ُطوّرت محركات تعتمد على الطاقة الكهربائية المستمدة من بطاريات قابلة للتعبئة عند الحاجة. والدراسات جارية لاستخراج الطاقة الكهربائية الناتجة عن تفاعلات كيميائية في خلايا للوقود تكون داخل السيارات وتمدها بالطاقة. كما تعاد دراسة إمكانية استخدام البخار الناتج عن التبخير الومضي، كما في المحرك الأبسط تركيبا المعروف باسم سترليني (Sterling).

وينحصر استعمال الطاقة الذرية في مجال النقل على السفن الكبيرة العابرة للمحيطات، مثل حاملات الطائرات والغواصات. وفي كثير من الأحيان، تقع محطة التوليد الكهربائية في منطقة وسطية وُتنقل الطاقة الكهربائية إلى السكك الحديدية وقطارات النقل العام السريع عبر خطوط نقل الطاقة.

محرك الحث الخطى Linear Induction Motor. يطبق هذا المحرك الطاقة الكهربائية باستعمال نظرية الحث الخطي التزامني. وقد ساعدت وزارة النقل الأمريكية في اختبار هذا المحرك وتطويره، حيث وضعت ملفّات دارة رئيسية في المركبة على جانبي قضيب معدني تفاعلي (أو الدارة الثانوية) مثبت في وسط السكة أو الممر الذي تسير عليه المركبة. وتتولد قوة الدفع الأمامية من التنافر المغناطيسي بين التيار الكهربائي المتولد محليا في القضيب التفاعلي والحقول المغناطيسية المتولدة من الملفات المعلقة على المركبة. انظر الشكل (٢ ,٥). وقد استخدم في الاختبارات المبدئية التي أجرتها وزارة النقل الأمريكية في مركز الأبحاث التابع لها قضيباً تفاعلياً هو قطاع مشكّل من الألومنيوم مركّز بين قضيبي سكة الحديد المتصلة ويرتفع ٢١ بوصة (٣ ,٥٣سم) فوق قضبان الربط أو العوارض التي يثبت بها.

ويحتوي محرك الحث الخطي على ملفّي دارة رئيسية مُهوّاة بارتفاع ١٠ بوصات (٤ , ٢٥سم) وطول الملف ١٥٠ بوصة (٣٨١سم). وقدرته التصميمية للدفع الأمامي المستمر بسرعة ٢٥٠ ميلاً/ ساعة (٣ , ٤٠٢كم/ ساعة) هي ٢٥٠٠ حصان (٣ , ١٨٦٤كيلواط) أو ٣٧٥٠ رطلاً (١٦٦٨٨ نيوتن). أما مصدر الطاقة فهو تيار متغير التردد بجهد ١٠٠٠ ڤولت ثلاثي المراحل، ُيحصل عليه من توربين داخل المركبة يدير مولّد التيار المتردد. ويتوقع أن لا



(أ) الفكرة العامة (ب) التطبيق

الشكل (٥,٢). محرك الحث الخطي مع قضيب تفاعل ثانوي ثابت.

(*From Fifth Report of The High Speed Ground Transportation Act of 1965* By The Secretary of Transportation, Washington, D.C., 1971, p. 37.)

يقتصر تطبيق محرك الحث الخطي على أنظمة السكك الحديدية، ولكنه سيشمل، أيضا، المركبة التي تسير على سكة من الوسائد الهوائية التي طورها مكتب النقل الأرضي بسرعات عالية التابع لوزارة النقل الأمريكية.

ويعود اختيار تثبيت الدارة الثانوية وتحريك الدارة الرئيسية، وليس العكس، إلى أسباب اقتصادية بدرجة كبيرة. إذ في حالة حركة المرور الخفيفة الكثافة، يكون من الأفضل اقتصاديا وضع القضيب التفاعلي الرخيص في السكة وتثبيت ملفات الدارة الرئيسية على المركبة. وعند تشغيل عدد أكبر من المركبات، يمكن أن يكون من الأجدى اقتصاديا تثبيت الذراع التفاعلي على المركبات والملفّات على السكة، والتي يمكن تزويدها بالطاقة من عدة مصادر مقترحة.

جهد الجرّ للقاطرات Locomotive Tractive Effort. يستخدم لفظ جهد الجرّ في هندسة السكك الحديدية والنقل العام السريع للدلالة على قوة الدفع. وعادة ما يقوم منتج القاطرة، أو مركز الأبحاث في شركة السكك الحديدية، بإعداد منحنيات لجهد الجرّ في القاطرات، والتي تبيّن قوة الجرّ أو قوة الدفع المتوافرة عند السرعات المختلفة. وعلى سبيل المثال، يظهر في الشكل (٣ , ٥) منحنى لقاطرة ديزل-كهربائية حديثة قدرتها ٢٤٠٠ حصان وتستعمل للأغراض العامة، وآخر في الشكل (٤ , ٥) لعربة نقل عام سريع. لاحظ أن نسب التروس المختلفة بين المحركات والمحاور تعطي مجالات مختلفة للسرعة وجهد الجرّ، أي أنها تحدد جزء منحنى جهد الجرّ الذي يمكن الاستفادة منه بفعالية. ويمكن الحصول على أدنى سرعةوأقصاها باستخدام المعادلة:

$$V = \frac{rpm \times D \times g}{336 \times G}$$

حيث إن:

V = أقصى أو أدنى سرعة للقاطرة

rpm = أقصى أو أدنى سرعة آمنة مسموح بها لدوران المحرك (٥٠٠ – ٦٠٠ دورة/ دقيقة أو ٢٠٠٠ – ٣٠٠٠ دورة/ دقيقة)

D = قطر عجلة القاطرة الدافعة بالبوصة

g = عدد أسنان الترس الصغير

G = عدد أسنان الترس الكبير

g/G = نسبة التروس

ويمكن إيجاد المنحنى التقريبي لجهد الجرّ للقاطرة الديزل-كهربائية من معادلة القدرة الحصانية التي تأخذ في الاعتبار الفواقد الميكانيكية والكهربائية والفواقد من الوحدات المساعدة، كالتالي:

$$TE = (hp_r - hp_a) \times 375 \times e/V$$

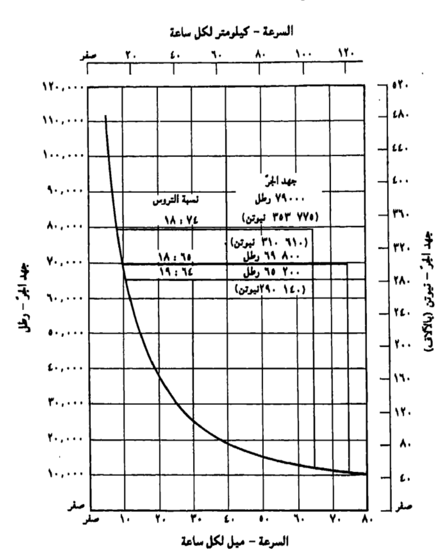
حيث إن:

hp_r = القدرة الإنتاجية لمحرك الديزل

hp_a = القدرة التي تستعملها من قبل الوحدات المساعدة

e = عامل كفاءة المحرك الميكانيكية والكهربائية والذي يساوي ٨٢,٢٪ .

V = سرعة القاطرة بالميل لكل ساعة

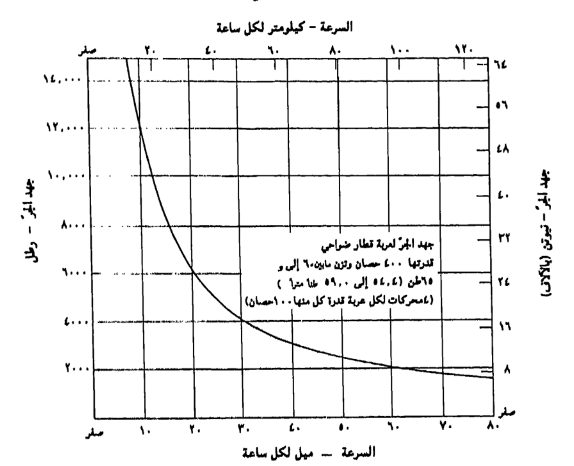


الشكل (٥,٣). منحنى جهد الجرّ لقاطرة ديزل قدرتها ٢٤٠٠ حصان.

(Courtesy of Alco Products, Inc., New York.)

وعند التعويض عن معامل كفاءة المحرك بالقيمة المعروفة للتصميم والتشغيل التقليدي للمحرك، تصبح المعادلة كالتالي:

$$TE = 308 \times hp_r /V$$



الشكل (٥,٤). منحنى جهد الجرّ لعربة نقل عام سريع.

وبضرب هذه المعادلة بنسب التروس المختلفة، يمكن الحصول على مدى قيم جهد الجرّ المقابلة.

وبمساواة الشغل الذي تبذله العجلة الدافعة في الدورة الواحدة بالشغل الذي بذله في الوقت نفسه، عزم اللّيّ للمحرك، يمكن الحصول على جهد الجرّ لقاطرة الديزل أو عربة النقل العام السريع كالتالي:

$$TE = T \times 24 \times G \times e \times N / (D \times g)$$

حيث إن:

T	= عزم اللّيّ بالرطل–قدم لنصف قطر قدره ١٢ بوصة(٣٠,٤٨ سم)
G	= عدد أسنان الترس الكبير
g	= عدد أسنان الترس الصغير
N	= عدد المحركات، بحيث يكون لكل منها عزم ليّ قدره T
e	= الكفاءة الميكانيكية للتروس، وتساوي مابين ٩٥٪ و ٩٧٪
D	= قطر العجلة الدافعة بالبوصة

ويمكن تحديد معادلات شبيهة للقاطرات التوربينية الغازية وأنواع القاطرات الأخرى التي تحتوي على محطات طاقة خاصة بها لتوليد الطاقة الكهربائية للمحركات الدافعة.

وفي القاطرات البخارية، يفترض أن يبقى جهد الجرّ المقدّر ثابتا حتى سرعة ١٥ ميلاً/ ساعة، ولذا يستخدم في الدراسات المتعلقة بحركة القطارات في الميول العالية، حيث تنخفض سرعة القطار نتيجة تأثير الارتفاع إلى حدود ذلك المدى. وبمساواة الشغل المبذول في الأسطوانات بالشغل المبذول عند حواف العجلات الدافعة خلال دورة واحدة لها، يمكن حساب جهد الجرّ المقدّر للبدء كالتالي:

$$TE = 0.85\ Pd^2\ s/D$$

حيث إن:

TE	= جهد الجرّ بالرطل
P	= قياس ضغط الغلاّية بالرطل لكل بوصة مربعة
d	= قطر الاسطوانة بالبوصة
s	= طول الشوط بالبوصة
D	= قطر العجلة الدافعة بالبوصة
0.85	= قيمة المعامل الذي يأخذ بالاعتبار النقص في الضغط بين الغلاية والأسطوانة.

وبغض النظر عن سعة المحرك، فيجب وجود وزن كاف لتوفير الالتصاق المطلوب مع القضبان لمنع الإنزلاق.
أما قاطرات الديزل والقاطرات الكهربائية التي يتم فيها توصيل حركة دفع دائرية منتظمة إلى العجلات، فبإمكانها العمل بمتوسط معامل التصاق يتراوح بين ٢٥٪ و ٣٠٪، ولكن الخبرة العملية تشير إلى أن القيم بين ١٨ , ٠ و ٢٠ , ٠ هي القيم العملية لتغطية الحالات التي تشمل مقاومة ابتداء الحركة والقضبان الزلقة وغيرها من الحالات غير المرغوب فيها. وتمثل القيمة ٢٥ , ٠ الحد الأقصى المسموح به للقاطرات البخارية. فمثلا، تصل القيمة العملية لجهد الجرّ لقاطرة تزن ٢٤٠٠٠٠ رطل (١٠٨٨٦٢كغم) عند العجلات إلى ٤٣٢٠٠ رطل (١٩٢٢٤٠ نيوتن)، وبقيمة عملية قصوى قدرها ٠٠٠ , ٦٠ رطل (٢٦٧٠٠٠ نيوتن). ويمكن الحصول على قيم أعلى قليلا لمعاملات الالتصاق في حالة القضبان النظيفة جدا والجافة.

وتعرف الحمولة الطنيّة المقدرة بأنها عدد الأطنان التي يمكن للقاطرة جرّها بسرعات محددة وفي حالات ميول معينة. وتحسب بقسمة جهد الجرّ لقضيب السحب للقاطرة (جهد الجرّ الصافي بعد خصم المقاومة الخاصة بالقاطرة نفسها) على وحدة المقاومة للحمولة المقطورة.

مثال توضيحي

جهد الجرّ لقاطرة وزنها ٢٤٠ طناً هو ٣٠٨٠٠ رطل عند سيرها بسرعة ٣٠ميلاً/ ساعة، ووحدة المقاومة للجرّ لها هي ٣٧٦رطلاً/ طن (بناء على معادلة ديفس)، ومقاومتها الكلية هي ٩٠٢ رطل. ووحدة المقاومة لعربة وزنها ٤٠ طناً عند سرعة ٣٠ميلاً/ ساعة هي ٥ , ٦ رطل/ طن (بناء على معادلة ديفس). وعلى ذلك، فإن وزن الحمولة

المقطورة التي يمكن لهذه القاطرة سحبها على سكة مستقيمة ومستوية هي [(٣٠٨٠٠ - ٩٠٢) ÷ ٦,٥] = ٤٥٩٩٦٩ طناً إجمالياً، أو قطار مكون من ١١٥ عربة.

جهد الجر لمركبات الطرق Automotive Tractive Effort. عادة ما يعبّر عن جهد الجر الذي تبذله المركبات التي تسير على الطرق بعزم اللّي، وهو القوة الدائرية، مقاسة بالرطل — قدم، المبذولة عند طرف حدّافة نصف قطرها يساوي قدما واحدا. أما القدرة الحصانية للكبح، التي عادة ما تستعمل في تصنيف محركات السيارات والشاحنات، فهي تتبع المعادلات العامة للقدرة الحصانية حيث يتم بذل القوة الدائرية على طرف حدّافة نصف قطرها قدم واحد (٠,٣ متر). وتمثل المسافة التي دارتها الحدّافة خلال دقيقة واحدة محيط الحدّافة × عدد الدورات بالدقيقة (N).

$$hp = 2\pi R \times F \times N/33,000$$

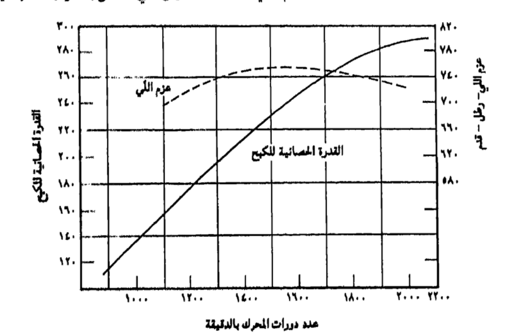
حيث F = قوة الجر بالرطل أي

$$hp = 2\pi R \times TE \times N/33,000$$

ولكن عزم اللّي يساوي $TE \times R$، ويساوي T عندما R = ١ قدم، (N) = عدد الدورات بالدقيقة وهكذا

$$hp = 2\pi \times T \times N/33,000 = 0.00019TN$$

ويتم إعداد منحنيات عزم اللي والقدرة الحصانية للمركبات بوساطة المصنع أو الاختبارات التي يجريها المشتري. انظر الشكل (٥ ,٥). تبين منحنيات عزم اللّي لمحركات البنزين التي تشتعل بالشرارة أن لها قيماً قليلة



الشكل (٥,٥). عزم اللّي وعدد دورات المحرك بالدقيقة والقدرة الحصانية لجرّار ديزل بـ ٨ أسطوانات.

عند السرعات البطيئة للمحرك، ثم ترتفع إلى ذروة معينة كلما زادت سرعة المحرك، ثم تنخفض بعد ذلك. أما منحنى عزم اللّي لمحركات الديزل التي تشتعل بالضغط، فيبين أن قيمته المرتفعة تظل ثابتة عند السرعات البطيئة ثم تنخفض قليلا عند السرعات العالية، مما يجعل هذه المحركات مناسبة جدا للشاحنات. وعند تشغيل المركبات بسرعة تقع في مدى السرعات المقابلة لأقصى عزم ليّ، فإنه يمكن بذلك الحصول على أفضل معدل لاستهلاك الوقود. وهذه القيمة يتم بلوغها في السيارات عند سرعة ٤٥ ميلاً في الساعة. ويجب أن نذكر أن القيمة القصوى لعزم اللّي أو لقوة الجرّ لا تحدث عند بذل القدرة الحصانية القصوى، إذ تعتمد سرعة المركبة على عدد دورات المحرك بالدقيقة، والذي يكون على حساب قوة الجر.

ويمكن حساب منحنيات جهد الجر من المنحنيات التي تظهر العلاقة بين عزم اللّي والقدرة الحصانية وعدد الدورات بالدقيقة — وذلك عند الأخذ بالاعتبار نسبة التروس الفعّالة بين عمود إدارة المحرك والعجلات الخلفية (أو الأمامية) الناتجة عن نسبة التروس لناقل الحركة ونسبة التروس للمسنّن التفاضلي. ويمكن الحصول على سلسلة من منحنيات عزم اللّي عند حواف العجلات باستعمال تركيبات مختلفة من التروس. ويُحسب جهد الجر عند حافة إطار العجلة الخلفية كالتالي:

$$TE = T\,G_t\;\;G_d\;\;e/r$$

حيث إن:

- TE = جهد الجر بالرطل
- T = عزم اللّي لحدافة المحرك مقاسة بالرطل-قدم عند سرعة دوران معينة.
- G_t = نسبة التروس لناقل الحركة
- G_d = نسبة التروس للمسنّن التفاضلي
- e = عامل لتغطية الفواقد الميكانيكية لنقل الحركة من عمود إدارة المحرك إلى حافة العجلة، وتقدر هذه القيمة بما يتراوح بين ٠,٨٥ و٠,٩٠
- r = نصف قطر الإطارات الخلفية (بالأقدام) بعد تحميلها، والتي تتغير مع حمولة المركبة ودرجة انتفاخ الإطارات

مثال توضيحي

يبلغ الوزن الإجمالي لجرّار شاحنة مزدوجة (جرّار ومقطورة) ١٦ طنا، ويبلغ عزم اللّي للمحرك ٧٥٨ رطلاً- قدم عند سرعة ١٦٠٠ دورة بالدقيقة. وتبلغ القدرة الحصانية المكبحية القصوى للجرّار ٢٨٩ حصاناً عند سرعة ٧٢٥ دورة بالدقيقة. ما طاقة الجر القصوى، وعند أي سرعة تتحقق لكل من نسب التروس الأربع التالية: ١,٦ إلى ١، ٢,٩ إلى ١، ٦,١ إلى ١، و ١,٠ إلى ١، مع العلم أن نسبة التروس للمسنّن التفاضلية هي ٥,٨ إلى ١؟ افرض أن قطر إطارات الشاحنة هو ٤٢ بوصة، وأن الإطار ينخفض بمقدار بوصة واحدة عند التحميل.

يحدث عزم اللّي الأقصى وكذلك قوة الجر القصوى عندما يدور المحرك بسرعة ١٦٠٠ دورة بالدقيقة.
والقدرة الحصانية المقابلة لذلك هي:

hp = ٠,٠٠٠١٩ × ٧٥٨ × ١٦٠٠ = ٢٣٠,٤ حصان

وعند السرعة البطيئة (نسبة التروس الأولى)، فسيكون جهد الجر للجرّار كما يلي:

TE = ٧٥٨ × ٦,١ × ٥,٨ × ٠,٨٥ ÷ [(٢١-١) ÷١٢]

TE = ١٣٦٧٧ رطلاً

وإذا استعملنا العلاقة بين القدرة الحصانية وجهد الجر والسرعة نحصل على:

V = (٣٧٥ × ٢٣٠,٤) ÷ ١٣٦٧٧

V = ٦,٣ ميل/ساعة

وباستعمال الطريقة نفسها، نجد أن جهد الجر عند نسبة التروس الثانية هو ٦٤٨٩ رطلاً عند سرعة ١٣,٣ ميل في الساعة. وعند نسبة التروس الثالثة، يصبح جهد الجر ٣٥٨٠ رطلاً عند سرعة ٢٤,١ ميل في الساعة. وعند نسبة التروس العالية تكون السرعة ٣٨,٦ ميل في الساعة وجهد الجر ٢٢٣٨ رطلاً.

وإذا افترضنا أن مقاومة جهد الجر تبلغ ٢٠ رطلاً/طن فتكون المقاومة الكلية للجرّار الذي يزن ١٦ طنا هي ٣٢٠ رطلا. وهذا يترك طاقة صافية للجر عند سرعة ٣٨,٦ ميل/ساعة قدرها ١٩١٨ رطلاً (أي ٢٢٣٨ - ٣٢٠ = ١٩١٨). وإذا كانت مقاومة الجر للمقطورة هي أيضا ٢٠ رطلاً/طن، فإن الوزن الإجمالي للمقطورة الذي يمكن تحريكه بوساطة الجرّار هو ١,٩١٨ ÷ ٢٠ = ٩٥,٩ طن.

وإذا افترضنا القدرة الحصانية نفسها، ولكن بوزن إجمالي للمركبة والحمولة قدره ٤٠ طناً، فستكون المقاومة الكلية لحركة الشاحنة المزدوجة على طريق منبسط هي ٢٠ × ٤٠ = ٨٠٠ رطل. وإذا استعملنا معادلة القدرة الحصانية مع اعتبار الكفاءة الميكانيكية تساوي ٠,٨٥، فستكون السرعة القصوى (V) = ٣٧٥ × ٢٨٩ × ٠,٨٥ ÷ ٨٠٠ = ١١٥ ميلاً/ساعة.

يجب ملاحظة أننا حدّدنا هنا السرعة القصوى عند مجموعة من الظروف المعينة بينما كان هدفنا في المثال التوضيحي إيجاد الطاقة القصوى للجر بغض النظر عن مدى تدني السرعة.

وتوضح هذه الأمثلة أن الحصول على قوة الجر القصوى يأتي على حساب السرعة وأن زيادة السرعة تقلل من جهد الجر وطاقة التحميل. ويجب أن نذكر أننا تجاهلنا في هذه الأمثلة تأثيرات ميل الطريق أو التسارع. (انظر مناقشة ميل الطريق في نهاية الفصل السابق).

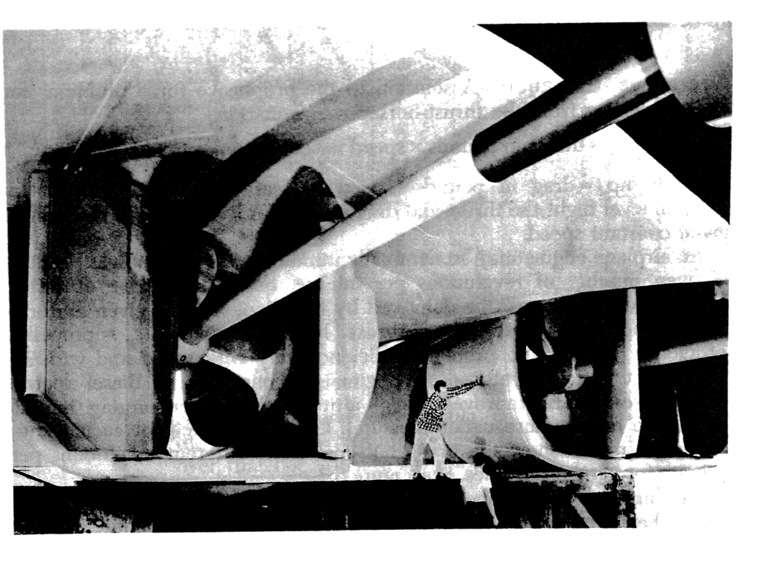
الدّفع Thrust. تكون القوة الدافعة للسفينة أو الطائرة فعالة بسبب قوة دفع الرفاص التي تقاس بالرطل. ويجب أن يكون الدفع، في الأقل، مساويا للمقاومة التي تواجهها السفينة أو الطائرة. ويعيق الاحتكاك التلامسي أو الدفع بين ريش الرفاص والماء الحركة إلى الأمام. ويسهم الأثر الذي تخلفه السفينة وراءها في الدفع، ولكن هناك فواقد عديدة حيث إن الريش لا تندفع نحو الماء بزاوية قائمة بالمقارنة مع اتجاه حركة السفينة. كما أن نشوء جيوب هوائية

حول ريش الرفاص، والتي تسمى بالفجوات، تقلل الدفع. ويتحكم عدد من العوامل في القدرة الحصانية الفعلية للرفاص وتصميمه وكفاءته منها شكل الريش وعددها وقطر محور الريش والبراغي، وموقع الرفاص بالنسبة لجسم السفينة، ومقدار الجزء البارز منه فوق الماء. ويتطلب تحديد مقدار الفاقد لهذه العوامل بدقة، ومقارنة تأثيرها على التصميم، استخدام طرق بالغة التعقيد ومطوّلة جدا، مما يستدعي إغفالها هنا. ولأغراض هذا الكتاب، فإنه لن يترتب خطأ كبير عند افتراض أن ٥٠ بالمائة من القدرة الحصانية النظرية لمحركات السفينة تفقد نتيجة احتكاك الريش وعمود الدفع، ونتيجة عدم كفاءة الرفّاص. وبما أن سرعة السفن تقدر، عادة، بالعقدة البحرية، فتصبح معادلة القدرة الحصانية والدفع هي [hp_t = الدفع × السرعة × ٢ × e ÷ ٣٢٦]، حيث إن (hp_t) هي القدرة الحصانية النظرية لمحركات السفينة، والسرعة مقاسة بالعقدة البحرية، والرقم (٢) يمثل عامل تغطية النقص في القدرة الحصانية النظرية للرفاص وعمود الإدارة الذي يساوي ٥٠٪، و (e) هي الكفاءة الميكانيكية للمحرك والتي تمثل فاقداً يتراوح قدره مابين ٦ و ٨ ٪ نتيجة الاحتكاك. وبالنسبة لمحركات الديزل، فإن فاقد الاحتكاك يكون نحو ٥ ٪ أو أقل.

وفي البداية، كان الدفع في السفن يتم بوساطة محركات متعددة التمدد تدار بالبخار وتقوم مباشرة بتحريك عمود إدارة الرفاص. أما اليوم، فإن محطة توليد الطاقة البحرية يمكن أن تتكون من واحدة أو أكثر من التوربينات البخارية التي تدار بإحراق الفحم أو الزيت، وتقوم بدورها بإدارة المولدات الكهربائية. وتقوم هذه المولدات بتوصيل الطاقة إلى محركات كهربائية موصلة بعمود الإدارة بوساطة تروس. ويمكن ربط محرك ديزل بعمود الإدارة بوساطة تروس خافضة. وفي حالة الحركة الديزل - كهربائية، يحل محرك الديزل محل التوربينة البخارية.

ووجدت الرفاصات الملولبة مجال استخدامها النافع الأول في الإبحار في المياه العميقة. وكانت رفاصات الزوارق النهرية القديمة تدار بعجلة التغذيف التي كانت في البداية تثبت على الجانبين ثم وضعت بعد ذلك في مؤخرة الزورق. وتستخدم زوارق الدفع الحديثة رفاصات ملولبة. وتوضع الرفاصات في مجرى أو قناة في جسم السفينة السفلي بحيث تسمح بغاطس ضحل العمق للزوارق النهرية، ولحماية الرفاص من التلفيات الجسيمة عندما يكون الغاطس كبيرا جدا بالنسبة لعمق الماء. ويتم تركيز جريان الماء نحو الرفاص بوساطة فوهة كورت (Kort)، وهي أنبوبة أسطوانية تحيط بالرفاص، وذلك لتقليل الفقد عند نهاية أرياش الرفاص، وزيادة المردود حيث تؤدي إلى زيادة دفع الرفاص بمقدار يتراوح بين ٢٠ و٢٥ ٪. انظر الشكل (٦ ,٥).

تأثيرات الميل Grade Effects. تفرض الملاحة في الممرات المائية داخل اليابسة - مثل القنوات والأنهار - صعوبات تتمثل في الارتفاع. ويساعد التيار المائي في الأنهار الجارية في حركة الجرّ أو يعاكسها. وفي حالة الحركة مع التيار، فإن التيار يزيد السرعة التي يبذلها الرفّاص. ويجب عند حساب المقاومة استخدام سرعة السفينة بالنسبة للماء لتحديد الاحتكاك السطحي والمقاومة المتبقية، ولكن يجب استخدام السرعة النسبية بين السفينة واليابسة لحساب الجزء الخاص بمقاومة الهواء. أما في حالة الحركة عكس التيار، فإن التيار المائي في النهر يضاد حركة السفينة ويقلل من سرعة الرفاص، ولكنه يزيد السرعة المستخدمة في حساب المقاومتين السطحية والمتبقية.



الشكل (٦,٥). رفاص لولبي مركب على زورق نهري. منظر سفلي لزورق قطر يظهر المراوح والزعانف الغاطسة وفوهات كورت.

(Courtesy of The Dravo Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania.)

وتكون التيارات المائية في الأنهار المتعرجة القديمة أقل سرعة، ولا تشكل عوائق للحركة. وتُنشأ السدود في المواقع التي يكون فيها الماء ضحلا، أو عندما تكون سرعة جريان الماء عالية جدا، وذلك لتكوين أجزاء من النهر تكون فيها المياه هادئة وبالعمق المطلوب. وتكون القنوات المائية غالبا مستوية وبدون ميول.

ويتم التغلب على عوائق الارتفاع باستخدام ما يطلق عليه هَويس القناة وهي حجرة لها بوّابتان عند نهايتيها، تصل قطاعين أو قسمين من قناة أو أي مجرى مائي، ووظيفتها رفعَ السفن أو خفضها رأسيا من مستوى إلى آخر وذلك في مرحلة واحدة أو عدة مراحل عبر حجرات الهويس. ويتم رفع الماء أو خفضه في حجرة الهويس بواسطة الجاذبية كما سيشرح في فصل قادم. ويجب على المهندس أن يوازن بين تكاليف عبور خط فاصل، أو حدّ ما، بعمق منخفض نسبيا وبعدد أقل من حجرات الهويس، مقابل سلوك طريق أسهل وأرخص في التشغيل (ولكن بتكلفة أعلى لحجرات الهويس) وذلك بالإبحار على ارتفاعات عالية. ويجب على المهندس، أيضا، أن يختار بين تغيير المنسوب المطلوب على عدة مراحل قصيرة، أو في عدد قليل من المراحل الكبيرة الارتفاع.

الطائرة والارتفاع Aircraft vs. Elevation. تحَلّ مسائل قوة الدفع في الطائرات من خلال استخدام معادلة الدفع والقدرة الحصانية التالية:

hp_t = الدفع بالرطل × السرعة بالقدم/ دقيقة ÷ ٣٣,٠٠٠

وبالمثل

hp_d = مقاومة السحب بالرطل × السرعة بالقدم/ دقيقة ÷ ٣٣,٠٠٠

حيث إن (hp_t) هي القدرة الحصانية للدفع، و (hp_d) هي القدرة الحصانية لمقاومة السحب. وفي حالة التحليق على ارتفاع منتظم ومستو، فيجب أن تكون قوة الدفع مساوية، في الأقل، لمقاومة السحب من أجل المحافظة على سرعة طيران ثابتة.

ويمكن تصنيف محرك الطائرة اسميا حسب القدرة الحصانية المكبحية التي يرمز لها بـ(Bhp) وذلك عند عدد معين من الدورات في الدقيقة. ولكن القدرة الحصانية الفعّالة أو الدفعية التي يرمز لها بـ(Thp)، هي ما يمكن للرفّاص تحقيقه عند ارتفاع معين. والعلاقة بين القدرة الحصانية الدفعية والقدرة الحصانية المكبحية هي [(Thp) = (Bhp) × e_p]، حيث (e_p) هي كفاءة الرفّاص. وتتفاوت كفاءة المحرك والرفاص بتفاوت السرعة وكثافة الهواء في الارتفاعات المختلفة. ويمكن تحسين كفاءة المحرك في الارتفاعات العالية باستخدام الشحّان (وهو أداة تستخدم لدفع مقدار إضافي من الهواء لمزيج الوقود تحت الضغط الفائق). وتبين المنحنيات التي أعدها المصنع لكل نوع من المحركات القدرة الحصانية المكبحية المقابلة لقيم مختلفة من عدد الدورات في الدقيقة، وذلك للارتفاعات المختلفة. انظر الشكل (٧,٥).

ويجب عند صعود الطائرة إلى أعلى أن ترفع وزنها الإجمالي إلى أعلى بمعدل معين يسمى معدل الصعود، ويرمز له بالرمز (V_c)، وهو مقدار التغير في الارتفاع مقاسا بالقدم لكل دقيقة ويساوي $\left[V_c = \frac{da}{dt} = V \sin\theta\right]$ حيث

(θ) هي الزاوية المحصورة بين مسار صعود الطائرة المنتظم والاتجاه الأفقي و(V) هي المسافة المائلة التي تقطعها الطائرة مقاسة بالقدم لكل دقيقة . ويمكن حساب (V_c) من معادلة القدرة الحصانية :

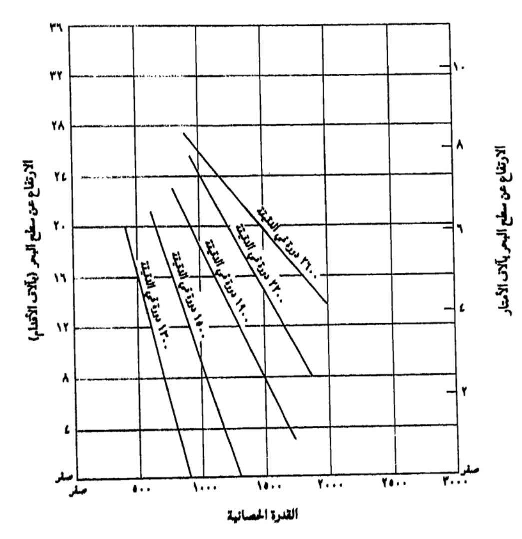
$$V_c = hp_e \times 33{,}000/W$$

حيث إن :

V_c = معدل الصعود بالقدم لكل دقيقة

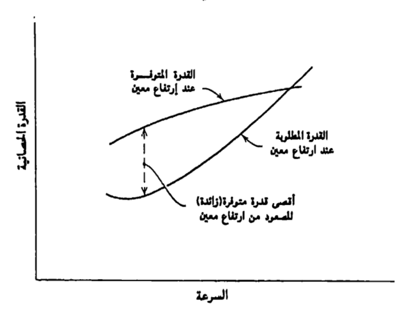
hp_e = القدرة الحصانية الإضافية المتوافرة على ارتفاع معين (زيادة على القدرة الحصانية اللازمة للمحافظة على ارتفاع معين لتحليق الطائرة خلال رحلتها)

W = وزن الطائرة ومحتوياتها بالرطل

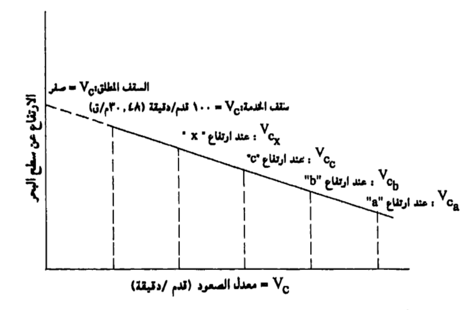


الشكل (٥,٧). أداء المحرك عند ارتفاعات متنوعة وأعداد مختلفة لدورات المحرك بالدقيقة.

وتحدد القدرة الحصانية القصوى المتوافرة أقصى سرعة ممكنة عند ارتفاع معين. ويتوافر عند السرعات الأقل من ذلك قدرة حصانية إضافية يمكن استخدامها للصعود إلى مستويات ارتفاع أعلى. انظر الشكل (٥,٨). وبالتعويض بقيمة القدرة الحصانية الإضافية في المعادلة أعلاه، يمكن الحصول على معدل الصعود (V_c) عند ارتفاع معين. ويبين الشكل (٥,٩) سلسلة من هذه النقاط التي رُسمت لارتفاعات متعددة.



الشكل (٥,٨). القدرة الحصانية الزائدة المتوفرة للصعود.



الشكل (٥,٩). السقف الأعلى للطائرة.

وتحدد النقطة التي تقع عند تساوي أقصى قدرة حصانية دفعية متوافرة مع أقصى قدرة حصانية دفعية لازمة لتحليق الطائرة، سقف الارتفاع المطلق للطائرة. وعادة ما تحدد النقطة التي يصبح عندها معدل الصعود أقل من ١٠٠ قدم/ دقيقة سقف الخدمة أو التحليق للطائرة.

وتنطبق القوانين المعروفة لمقاومة الجرّ على حركة الطائرة على الأرض عند إقلاعها أو هبوطها. وتساوي المقاومة الأرضية الكلية مجموع مقاومة الهواء ومقاومة الدروج كما هو الحال في المركبات البرية، أي أن $[R_g = D + R_r]$. وبالنسبة للطائرة، فإن مقاومة الهواء هي مقاومة السحب، أو $\left[D = C_{Dp}\,\rho V^2 S/2\right]$، ومقاومة الدروج هي $[R_r = f(W - L)]$، حيث يتغير (f) من ٠,٠٢ للمدرج الخرساني إلى ٠,١٠ لمدرج غير مرصوف فيه عشب طويل، وتعتمد قيمته على درجة النعومة. و(L) هي قوة الرفع وتساوي $\left[L = C_L\,\rho V^2 S/2\right]$. وعند بداية حركة الإقلاع على المدرج، تكون زاوية الهبوب في أقل قيمة لها، مما يعطي أقصى قيمة للنسبة (L/D). وتكون قوة التسارع المتوافرة واللازمة لزيادة سرعة الطائرة إلى الحد الذي يمكنها من الإقلاع مساوية للدفع الزائد الذي يساوي $[T_e = T_v - (D + R_r)]$، حيث (T_v) هي قوة الدفع عند السرعة الأرضية، و(D) و (R_r) هما كما سبق تعريفهما أعلاه. وتزيد مقاومة السحب مع زيادة السرعة مما يقلل قيمة (T_e). ولكن، في الوقت نفسه، تزيد قوة الرفع مع زيادة السرعة مما يقلل الحمل على العجلات إذ إن الأجنحة تحمل مقداراً أكبر فأكبر من الحمولة. وفي اللحظة التي تغير فيها زاوية الهبوب تغييراً مفاجئاً للعمل على إقلاع الطائرة كليا فوق الأرض، تصبح مقاومة السحب أكبر بكثير مما يقلل السرعة. ولذا، يجب أن تكون سرعة الإقلاع أكبر من سرعة الانهيار وذلك لمجابهة النقص المفاجئ في السرعة. وتستخدم سرعة إقلاع مقابلة لمعامل رفع (C_L) قيمته تعادل مابين ٧٠٪ و ٩٠٪ من أقصى قيمة له، حيث يمكن استنباط أن سرعة الإقلاع = ١,٠٥٤ × سرعة الانهيار، وذلك عند استخدام نسبة ٩٠٪.

مثال توضيحي

بالرجوع إلى المثال التوضيحي في الفصل الرابع، اعتبر أن القوة الدافعة المتوافرة للتسارع عند بداية حركة الإقلاع (أي عندما تصل سرعة الطائرة إلى ٢٠ ميلاً/ ساعة، مثلا) هي $[T_e = T_{v20} - (D + R_r)]$. وبافتراض أن الرقّاص يعمل بكفاءة ٨٥٪، فإن (T_{v20}) = (٢ × ١٦٠٠ × ٠,٨٥ × ٣٧٥) ÷ ٢٠ = ٥١٠٠٠ رطل. ويمكن حساب قوة التسارع المتوافرة (T_e) من المعادلة:

$$T_e = 51{,}000 - \left[C_{Dp}\,v^2 S\,\rho/2 + 0.02\left(25{,}000 - C_{L\,\min}\,v^2 S\,\rho/2\right)\right]$$

ولكن (C_L) = ٠,٠٤٣، من الشكل (٤-٦) عند زاوية هبوب فعالة قدرها درجتان، ومن ذلك، أيضا، فإن (C_{Dp}) = ٠,٠٠٥٦. وبالتعويض بهذه القيم مع قيم مساحة الجناح، والسرعة التي قدرها ٢٠ ميلاً/ ساعة وكثافة الهواء عند سطح الأرض التي تساوي ٠,٠٠٢٤، في المعادلة أعلاه نحصل على القيمة (T_e) = ٥٠٥٠٣ أرطال عند سرعة ٢٠ ميلاً/ ساعة.

وفي اللحظة التي تكون فيها الطائرة على وشك الإقلاع كليا عن سطح الأرض، فإن جميع الحمل الذي كان واقعا على العجلات يحمله الجناح من الناحية العملية، وبالتالي، فإن قيمة R_r = صفر وقيمة $[T_e = T_v - D]$. وبافتراض أن سرعة الانهيار تساوي ٨٠ميلاً/ ساعة، فإن سرعة الإقلاع تساوي ٨٤,٣٢ميل/ ساعة (أي ١,٠٥٤ × ٨٠)، ومن ذلك [$T_v = T_{84.32}$ = (٢ × ١٦٠٠ × ٠,٨٥ × ٣٧٥) ÷ ٨٤,٣٢ = ١٢٠٠٠ رطل]، و[D = (٠,٠٠٥٦ × ٠,٠٠٢٤ × (٨٤,٣٢ × ١,٤٧)٢ × ٩٨٠) ÷ ٢ = ١٠٢ رطل]، وبالتالي، فإن T_e = ١٢٠٠٠ − ١٠٢ = ١١٨٩٨ رطل. وبالطبع، فإن أسلوب الحل هذا يعد أسلوبا مبسطا للواقع.

ويجب أن يكون معدل ميل مدرج المطار مستويا حسب ما تسمح به الظروف. ولا يجب السماح بوجود معدلات ميول في المطارات التجارية سوى ما يكفي لتصريف السيول تصريفاً ملائماً. و لأن الرحلات الجوية الطويلة المدى تحلق على ارتفاعات عالية في طبقات الغلاف الجوي العليا، للاستفادة من الرياح السائدة هناك التي تقلل مقاومة الهواء، وكذلك لتفادي حركة مرور الطائرات في الارتفاعات الأقل، نظرا لذلك كله، فإن الحديث عن الاختلاف في تضاريس الطريق الجوي لا معنى له سوى في حالة وجود قمم جبال عالية جدا. ويجب أن تشير الخرائط الملاحية الجوية إلى وجود هذه القمم كما يجب أن تحتوي على المسارات التي تتبع الممرات بين هذه الحواجز، أو المسارات التي تستدير حولها، كما في حركة السفن حول الصخور السطحية والجزر. وبالإضافة لذلك، فإنه يمكن للطائرات التحليق فوق هذه القمم والعوائق.

أما بالنسبة للطائرات المحلقة على ارتفاعات أقل، فيجب أن تحدد هذه الممرات بين الجبال تحديداً دقيقاً وواضحاً في الخرائط الملاحية. ويعد تصميم وسائل الإرشاد الإشعاعي اللاسلكي لهداية الطائرات وعلامات تحديد المسارات الجوية من الموضوعات المتعلقة بالتحكم الملاحي الذي سنناقشه في فصل قادم.

وبالنسبة لموقع المطار، فإن ارتفاعه عن سطح البحر يؤدي دورا مهما في تحديد أطوال المدارج، وبالتالي، المساحات المطلوبة للمطار. إذ نحتاج إلى مدرج أطول كلما ارتفعنا عن سطح البحر للطائرة والحمولة نفسها، وذلك بسبب أن كثافة الهواء الجوي تقل مع الارتفاع مما يؤدي إلى زيادة السرعة الأولية المطلوبة للحصول على قوة الرفع اللازمة للإقلاع. فمثلا، إذا كان طول المدرج اللازم عند سطح البحر هو ٤٧٠٠ قدم (١٤٣٣ مترا)، فإنه يصبح ٥٧٠٠قدم (١٧٣٧مترا) عند ارتفاع ٤٠٠٠قدم (١٢١٩ متراً) ويصبح، ٦٧٠٠ قدم (٢٠٤٢مترا) عند ارتفاع ٨٠٠٠قدم (٢٤٣٨متراً).

وكما هو الحال في وسائط النقل الأخرى، فإنه يمكن للطائرة أن تنزل من ارتفاع عال إلى ارتفاع أقل بمساعدة قوة الجاذبية، مما يقلل من استهلاك الوقود خلال وقت النزول. وعندما تكون رحلة الطائرة من مطار مرتفع عن سطح الأرض إلى مطار آخر أقل منه ارتفاعا، فسيكون هناك نوع من التوفير في الوقود خلال هذه الرحلة المتجهة إلى الأسفل مقارنة بالرحلة في الإتجاه المعاكس. ومع ذلك، و لأن نسبة كبيرة من قدرة الطائرة والوقود تستهلك في إنتاج قوة الرفع، فإن العلاقات التي تربط قوة الدفع والجاذبية ومقاومة السحب ليست ذات أهمية كبيرة، كما هو الحال في حركة المركبات البريّة.

محطات الضّخ Pumping Stations. يجبر الزيت على الحركة عبر خط الأنابيب بوساطة ضغط الضّخ الذي يعبر عنه إما بالرطل لكل بوصة مربعة، أو بارتفاع عمود الضغط بالقدم الذي يتغلب على مقاومة الجريان المعبر عنها بالوحدات نفسها. والقوة الكلية اللازمة لتحريك السائل والقدرة الحصانية المقابلة واللازمة لمعدات الضخ ما هي إلا القدرة الواصلة فعليا إلى السائل، أي حاصل ضرب وزن السائل في عمود الضغط:

$$hp_f = W_f \times h/33,000$$

حيث إن:

hp_f = القدرة الحصانية الواصلة للسائل

W_f = الوزن بالرطل لجريان السائل في الدقيقة

h = الإرتفاع الكلي لعمود ضغط السائل بالقدم، ويساوي حاصل ضرب ضغط الضّخ × الكثافة النوعية للسائل ÷ ٦٢,٤

وتوفّر مضخات في بداية خط الأنابيب بالإضافة إلى مضخات تعزيز في محطات على طول الخط ضغط الضخ اللازم. وفي المحطات المنشأة قديما، كانت المضخات التّرددية هي الشائعة الاستعمال كما يجري تركيبها في بعض المحطات الحديثة، ولكن المضخات الطاردة المركزية المتعددة المراحل هي الأكثر استخداما اليوم. وتدار هذه المضخات بوساطة المحركات البخارية ومحركات الاحتراق الداخلي (عادة محركات الديزل) والمحركات الكهربائية. ويمتاز محرك الديزل بقدرته على ضخ بعض المنتجات التي يحصل منها في الوقت نفسه على وقود لتشغيله. انظر الشكل (١٠,٥).

وتساوي القدرة الحصانية الواصلة من مضخة ترددية حاصل ضرب القوة (التي تساوي ضغط الضخ (P) بالرطل لكل بوصة مربعة × مساحة المكبس بالبوصة المربعة) في المسافة بالقدم التي يتم عبرها بذل القوة خلال وحدة الزمن:

$$hp = P\left(\pi d^2 s/4\right) \times n \times N/33,000$$

حيث إن (d) هو قطر المكبس بالبوصة، و (s) هو الشوط بالقدم، و (n) هو عدد الأشواط في الدقيقة، و (N) هو عدد أسطوانات المضخّة أو مكابسها.

وعمليا، يُعبّر، عادة، عن الجريان بوحدة البرميل لكل ساعة. ويساوي حجم الزيت بالبراميل المنقولة في الساعة عن طريق المضخة، المقدار $[A \times s \times n \times 12 \times 60/9702]$، حيث ($A$) هي مساحة المكبس بالبوصة المربعة، و (s) و (n) هما كما سبق تعريفهما، والرقم (9702) يمثل معامل التحويل من وحدة البرميل (٤٢ جالون) إلى البوصة المكعبة. وبالتالي، فإن القدرة الحصانية تساوي $[hp = 0.0004\ PB]$ حيث إن (B) هو حجم الضخ مقاسا بالبرميل لكل ساعة. وعندما يكون للمضخة أكثر من أسطوانة أو مكبس واحد فيجب ضرب هذه المعادلة بعدد المكابس (N)، كما يجب ضرب عدد الأشواط في اثنين للمضخة المزدوجة الفعل أو العاملة باتجاهين. وبسبب الانزلاق



الشكل (٥,١٠). محطة ضخ للزيت الخام تدار بمحركين على الديزل قدرة كل منهما ٨٠٠ حصان.

(Courtesy of R.B. Ward and The Oil and Gas Journal, Tulsa, Oklahoma.)

الجانبي، يمكن أن يقل الحجم الفعلي، وبالتالي، القدرة الحصانية الواصلة إلى السائل بمقدار يتراوح بين ٣٪ و ٢٠٪ من تلك المحسوبة بناء على مقاسات المضخّة. وتعرّف الكفاءة الميكانيكية بأنها النسبة بين القدرة الحصانية الواصلة إلى السائل (hp_f) إلى تلك الواصلة إلى عمود الإدارة في المضخة (hp_s)من المحرك الأساسي، أو $\left[e = {hp_f}/{hp_s}\right]$. وقد تصل الضغوط العاملة للمضخات المكبسية إلى قيم عالية قدرها ١٤٠٠ رطل/ بوصة مربعة (٩٦٥ ميغاباسكال).

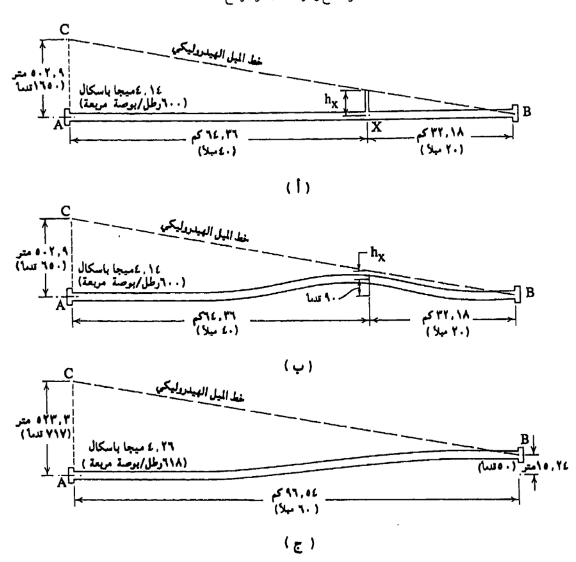
وتتمتع المضخات الطاردة المركزية بخصائص مختلفة، إذ تتغير كمية التدفق طرديا مع السرعة. ولذا، يُذْكر، عادة، عدد الدورات في الثانية التي تتحقق عندها خصائص القدرة الحصانية لهذه المضخات. وتعُدّ منحنيات تبين العلاقة بين تلك السرعة وعمود الضغط والسعة والقدرة الحصانية والكفاءة. ويتغير عمود الضغط أو ضغط الضخ مع مربع السرعة، بينما تتغير القدرة الحصانية مع مكعب السرعة. وعند سرعة معينة، تقل السعة مع زيادة الضغط. ويمكن الحصول على ضغوط تتراوح بين ١٢٠٠و ١٤٠٠ رطل/ بوصة مربعة (بين ٨٢٧٣ و ٩٦٥ ميجاباسكال) باستعمال تلك المضخات. كما يمكن توصيل مضختين أو أكثر على التوالي للحصول على ضغط إجمالي يمثل مجموع الضغوط الفردية. وعند توصيلها على التوازي، فإن السعة تزيد بالمقابل.

الارتفاع في خطوط الأنابيب Elevation in Pipelines. لا تمثل الميول في خطوط الأنابيب مشكلات في تحديد مواقعها، ما عدا تأثيرها على الصعوبات التنفيذية في الإنشاء. كما أن الفرق في المنسوب بين محطات البداية والنهاية أو بين أي محطتين وسطيتين على خط الأنابيب له أهميته، إذ قد يزيد جهد الضخ أو يقلله حسب ارتفاع منسوب محطة البداية أو انخفاضه عن منسوب المحطة النهائية.

وبتحديد النقطة المرتفعة بين محطتين، يمكن إعداد خط الميل الهيدروليكي الذي يعرف بأنه الخط الناتج عن توصيل نهايات الارتفاع لأعمدة من السائل في أنابيب بيزومترية (Piezometer) موضوعة في نقاط مختلفة على طول الخط. ويبين خط الميل الهيدروليكي الفرق في الضغط بين أي نقطتين، كما في الشكل (١١, ٥أ)، حيث يمثل الخط (CB) خط الميل الهيدروليكي لخط الأنابيب (AB). وتمثل مقاومة الجريان المقاومة الوحيدة لضغط الضخ الذي تساوي قيمته ٦٠٠ رطل/ بوصة مربعة (١٤, ٤ ميغاباسكال)، وهذه المقاومة كافية لتقليل هذا الضغط إلى الصفر في النقطة (B)، ولكن لا يسمح، عادة، في الممارسة العملية لهذا الضغط أن يقل عما يتراوح بين ٥٠ و ١٠٠ رطل/ بوصة مربعة (٣٤٥, ٠ إلى ٦٨٩, ٠ ميغاباسكال). ويمثل الخط الرأسي (AC) عمود الضغط المكافئ بالقدم الذي تم حسابه حَسْب ما هو موضح في المثال التوضيحي التالي:

مثال توضيحي

تساوي وحدة الضغط عند قاعدة عمود من الماء ارتفاعه قدم واحد ٦٢, ٤ ÷ ١٤٤ = ٤٣٤, ٠ رطل/ بوصة مربعة. ويزن القدم المكعب من الزيت الذي كثافته النوعية ٨٢, ٠، ما يساوي ٨٢, ٠ × ٦٢, ٤، أو الكثافة = ٥١, ٢



الشكل (٥,١١). خطوط الميل الهيدروليكي.

رطل/ قدم مكعب، ووحدة ضغط الزيت تساوي ٥١,٢ ÷ ١٤٤ = ٠,٣٦ رطل/ بوصة مربعة. ومن ذلك، يمكن حساب ارتفاع عمود الضغط المكافئ لضغط ضخ قدره ٦٠٠ رطل/ بوصة مربعة كالتالي: [h_a = ٦٠٠ ÷ ٠,٣٦ = ١٦٦٧ قدماً]، ويمكن حساب عمود الضغط (h_X) عند النقطة X، التي تبعد ٤٠ ميلا عن النقطة (A)، باستخدام المثلثات المتشابهة، ليساوي ٥٥٦ قدما، بضغط قدره ٥٥٦ × ٠,٣٦ = ٢٠٠ رطل/ بوصة مربعة. وللتأكد من الحسابات، فإن متوسط فاقد الضغط يساوي ٦٠٠ ÷ ٦٠ = ١٠ أرطال/ بوصة مربعة/ ميل، ولمسافة ٤٠ ميلا فإن فاقد الضغط هو ٤٠ × ١٠ = ٤٠٠ رطل/ بوصة مربعة، وبذا يبقى ضغط قدره ٢٠٠ رطل/ بوصة مربعة عند النقطة (X). ولو وضعنا أنبوبة بيزومترية عند ا لنقطة (X) لارتفع فيها السائل بمقدار ٥٥٦ قدما.

الآن، افترض أن هناك ارتفاعا بين النقطتين (A) و (B)، كما في الشكل (١١ ، ٥ب). في هذه الحالة، سيتغير عمود الضغط عند النقطة (X) ولن يظل مساويا لـ ٥٥٦ قدما. لنفرض أن ارتفاع خط الأنابيب عند النقطة (X) هو ٩٠ قدما عن منسوب النقطتين (A) و (B). وعليه، فإن عمود الضغط اللازم للتغلب على ارتفاع ميول قدره ٩٠ قدما هو في الواقع ٩٠ قدما، وبذلك يبقى عمود ضغط ارتفاعه ٤٦٦ قدما عند النقطة (X) بضغط ضخ قدره ١٦٧,٨ رطل/ بوصة مربعة. وبما أن النقطتين (A) و (B) لا تزالان في المستوى نفسه، فإن الفقد في الضغط يستغل في رفع الزيت فوق قمة المرتفع ويستعاد عند جريان الزيت في الاتجاه النازل عند النقطة (B) ولكن، لو كانت النقطة (B) أعلى منسوبا من النقطة (A)، لوجب إضافة عمود ضغط كاف عند النقطة (A) وذلك للتغلب على مقاومة الارتفاع. انظر الشكل (١١ ، ٥ج). فلو كان ضغط الضخ الذي مقدّاره ٦٠٠ رطل/ بوصة مربعة يكفي بصعوبة للتغلب على مقاومة الجريان في خط أنابيب مستو بدون أية ميول، فيجب، إذًا، توفير ضغط إضافي بعمود كاف لرفع الزيت ٥٠ قدما حتى نصل لمنسوب النقطة (B). وعليه، فإن الضغط عند النقطة (A) يجب أن يساوي ٦٠٠ + (٥٠ × ٠,٣٦) = ٦١٨ رطلاً / بوصة مربعة، بعمود ضغط ارتفاعه ٦١٨ ÷ ٠,٣٦ = ١,٧١٧ قدما.

ولو كانت النقطة (B) أقل منسوبا من النقطة (A)، فإن الجاذبية ستعمل، حينئذ، على مساعدة الجريان. وعلى العموم، فيجب إضافة الفرق بين عمودي الضغط عند نهايتي خط الأنابيب الابتدائية والنهائية أو خصمه من فواقد الضغط الناتجة بسبب المقاومة لوحدها. أما لو كان ارتفاع خط الأنابيب في أية نقطة وسطية أعلى من خط الميل الهيدروليكي، ففي هذه الحالة، لن يكون هناك استمرارية في الجريان ما لم تسلّط قوة شفط فراغية من الجهة النهائية لخط الأنابيب. وبذا، فإن القاعدة التي يجب على المهندس اتباعها عند توقيع خط الأنابيب أن تظل الميول والارتفاعات الوسطية لخط الأنابيب دائما أقل مستوى من خط الميل الهيدروليكي (أو زيادة الضغط الابتدائي مما يغير من خط الميل الهيدروليكي) واختيار أسهل المسارات من الناحية الإنشائية. ويجب تقليل إجمالي الفروق في الارتفاعات إلى أدنى حد ممكن وذلك لتفادي الحاجة إلى زيادة ضغط الضخ، كما يجب تحقيق توازن بين تكاليف إنشاء خط الأنابيب بميول وارتفاعات قليلة، وبين تكاليف إنشاء وحدات ضخ بضغط أعلى وتشغيلها. ويجب حل هذه المسألة وقت إعداد خط الميل الهيدروليكي مع تجنب حدوث تغيرات مفاجئة في الارتفاع، حتى في خط الميل الهيدروليكي، خصوصا بالقرب من محطة الضّخ. ومن المرغوب فيه أن تكون خطوط تجميع الزيت أعلى منسوبا من محطة بداية خط الأنابيب وذلك للاستفادة من الجاذبية في دفع الزيت نحو نقطة التركيز.

المزايا التصميمية Design Features. تغذّي خطوط التجميع (التي يمكن أن تصل إلى مائة خط أو أكثر) منطقة تجميع وتخزين وضخ ابتدائية. ويعتمد تصميم مواقع محطات الضخ الوسطية أو التعزيزية وتكرارها على عدة عوامل تشمل ارتفاع نقطتي البداية والنهاية وضغوط الضخ الابتدائية وخط الميل الهيدروليكي وقطر الأنبوب وسعة الجريان المرغوب فيها. وتتغير سعة الجريان تقريبا مع قطر الأنبوب المرفوع لأسّ قدره ٢,٦. ولذا، فإن أنبوباً واحداً ضخماً يكافئ عدة أنابيب أصغر منه قطرا. وعند تثبيت قطر الأنبوب، فإن سعة الجريان أو التصريف ستكون دالة في القدرة الحصانية وضغط الضخ؛ إذ كلما زادت المسافة بين المحطات زادت الحاجة إلى ضغط ابتدائي

أعلى. وعادة ما يسمح بتوافر ضغط ضخ متبق يتراوح قدره بين ٥٠ و ١٠٠ رطل/ بوصة مربعة في نهاية كل مرحلة من مراحل الضخ بين المحطات. وعلى ذلك، فإن هناك مجالاً للمقايضة الاقتصادية بين عدد محطات الضخ (أي المسافة البينية بينها) وقطر الأنبوب وإمكانيات الضّخ (القدرة الحصانية والضغط). وسنناقش في الفصل الحادي عشر موضوع مراقبة الجريان والتحكم المركزي بالنظام باستخدام الحاسوب. وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن ضخ أكثر من نوع من السوائل داخل الأنبوب نفسه في الوقت نفسه. إذ يمكن أن يحتوي خط الأنابيب على شحنات مختلفة النوع من البنزين بدرجاته المتعددة بجوار وقود الديزل وزيوت التسخين. ويمكن استخدام كرات من المطاط أو غيرها فواصل للشحنات بين الأنواع المختلفة، إلا أن اختلاف أسعارها يحد من إمكانية مزجها وضخها في الخط نفسه في حالة عدم استعمال تلك الفواصل.

خطوط أنابيب «المواد الصلبة» "Solids" Pipelines. وجد أن استخدام خطوط الأنابيب لنقل المواد الصلبة كان مفيدا عندما تكون تكلفة نقلها بالطرق البديلة عالية جدا، وكذلك عندما يكون عامل التحميل عاليا (أي بكميات كبيرة من الحمولة). وكما هو الحال في أنواع خطوط الأنابيب الأخرى، فإن مشكلة الحاويات الفارغة العائدة للتحميل مرة أخرى غير موجودة هنا، ولكن لا توجد فرصة لنقل أنواع أخرى من المنقولات في الأنبوب نفسه، أيضا، إذ إن الجريان يكون في اتجاه واحد. ولا يوفر هذا النظام مرونة في اختيار المواقع وأنواع المنقولات.

وهناك طريقتان ممكنتان لنقل المواد الصلبة عبر الأنابيب: (١) جريان معلّق للمادة الصلبة الدقيقة والقابل للضخ (وهو الأكثر شيوعا واستعمالا)، و(٢) داخل كبسولات تقوم بعزل الحمولة عن السائل الذي يحملها وتتحرك فيه. ولا زال النقل داخل الكبسولات في المراحل التجريبية. أما الطريقة الأولى فتستخدم معلّقاً لجزيئات مطحونة بدرجة عالية النعومة (من الفحم أو خامات المعادن، مثلا) داخل سائل، عادة ما يكون الماء. وعموما، يتبع جريان المعلّق قوانين جريان السوائل. وتدحرج السرعات العالية للسائل الجزيئات الكبيرة الأقطار ببطء على سطح الأنبوب الداخلي السفلي، إذ يمكن أن تتحرك الجزيئات غير المنتظمة ببطء أشد من حركة السائل في حالة الجريان غير المتجانس. وهناك طريقة ثالثة ومستعملة بكثرة تنقل الجزيئات الناعمة جدا التي مقاسها مابين ٢٥ و٣٠ جزءاً من الألف من المليمتر (ميكرون) أو أقل داخل جريان مضطرب لمعلق متجانس. والاضطراب في الجريان يضمن بقاء المعلّق منتظما، إذ تنفصل الجزيئات عن المعلّق لو توقف الجريان. وعندما يكون الجريان بطيئا فإن الجزيئات تترسب وتبلي الأنبوب. كما أن الجزيئات تترسب أيضا لو كانت مقاسات سحقها كبيرة جدا.

وتشمل المتطلبات التقنية لنظام النقل هذا ما يلي: (أ) عدم تغير المواد الصلبة أو تفاعلها الضار عند اتصالها بسائل التعليق، (ب) سهولة تعلّق المواد الصلبة وسرعتها وسهولة فصلها عن المعلّق عند وصولها إلى هدفها، (جـ) عدم تسبب المعلّق بصدأ الأنبوب أو كشطه، (د) سهولة مناولة المعلّق باستخدام المعدات المتوافرة لإعداده وضخّه وارتجاعه، (هـ) توافر كميات كبيرة من سائل الجريان الذي عادة مايكون الماء. وقد يكون المتطلب الأخير عائقا خطيرا بسبب تنامي الحاجة للماء، خصوصا الماء النظيف وغير الملوث (إذ يحتمل تلوث الماء بعد استعماله كسائل للجريان وفصل الأجزاء العالقة به من المواد الصلبة والتخلص منه).

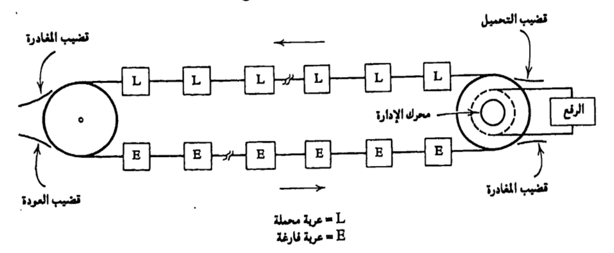
ومن الأمثلة على ذلك خط أنابيب مُعلّق الفحم في جنوب غربي الولايات المتحدة الأمريكية الذي يزود محطة توليد كهربائية طاقتها ١,٥ مليون كيلوواط، حيث يتم ضخ ٦٠٠ طن (٥٤٤,٣ طن متري) في الساعة من جزيئات الفحم المسحوق بنعومة عالية، والذي يشكل ٥٠٪ من المحلول المائي، لمسافة طولها ٢٠٠ ميل تقريبا (٣٢٢كم) بخط أنابيب قطره ١٨ بوصة (أو ٤٥,٧ سم). ويحتاج المعلّق لثلاثة أيام لقطع المسافة الكلية لمسار الخط الذي يشمل ارتفاعا قدره ١٦٠٠ قدم (٤٨٧,٧ متر) في الـ ٢٥ ميلا الأولى (٤٠,٢كم)، وانخفاضا قدره ٣٠٠٠ قدم(٩١٤,٤ متر) عند النهاية حيث يقل قطر الخط إلى ١٢ بوصة (٣٠,٤٨سم). ويستعمل في هذا الخط أربع مضخات مكبسية ضخمة تعطي ضغوطا تصل إلى ١٠٠٠ رطل/ بوصة مربعة (٦,٨٩ ميغاباسكال)، تقع في محطة الضخ الابتدائية وثلاث محطات تعزيز على طول الخط. ويسترجع الفحم من المعلّق بوساطة مجفف طارد مركزيا ليشكل قطعة متراصة رطبة، يتم بعد ذلك سحقها للحصول على مسحوق جاف جاهز للاشتعال. أما الماء المسترجع من قوة الطرد المركزية فيستعمل لأغراض التبريد. وقد ظهرت جدوى ميكنة هذا النظام في جميع عمليات التشغيل، والإيقاف وإعادة تشغيل عمليات الضخ. وبالإضافة لذلك، ظهر أن تضاريس الأرض يجب ألا تشكل عائقا لأداء النظام. وتجري حاليا دراسة لإنشاء خط آخر طوله ١٠٠٠ ميل (١٦٠٩كم) في المنطقة نفسها. وعند مقارنة استخدام خط الأنابيب لنقل المواد الصلبة مع استخدام وسائط نقل أخرى، يجب أن تكون المقارنة مبنية على اقتصاديات موقع المشروع وحالة الطلب.

الناقل الهوائي Aerial Tramway. يمثل الناقل الهوائي أحد تطبيقات الأسلاك المتحركة (انظر الشكل ١٢,٥)، والذي يستخدم غالبا في التضاريس الوعرة والميول الشديدة التي لا يمكن لأي وسيلة نقل أخرى اجتيازها بطريقة اقتصادية. وقد احتوت الطبعة الأولى من هذا الكتاب على شرح مفصل لمتطلبات القدرة الحصانية وتصميمها في الصفحات من ٢١٠ إلى ٢١٤، كما يمكن مراجعة الجزء الذي يناقش موضوع «الناقلات الهوائية والأسلاك الناقلة» في كتاب دليل مهندس التعدين.[١]

السيور المتحركة Conveyors. تمثل هذه، أيضا، تطبيقا آخر لفكرة الأسلاك والسيور المتحركة. ويتم، عادة، التغلب على مقاومة البكرات والثقل والارتفاع بقوة محرك كهربائي معلق بعمود إدارة البكرات الدافعة أو موصول بها عن طريق تروس أو غيرها. وكما هو الحال في وسائل النقل الأخرى، يجب توافر احتكاك للالتصاق بين أسطح البكرات الدافعة والسير من أجل ضمان حركته. وتساوي قوة الشد الفعالة أو الساحبة اللازمة الفرق بين قوتي الشد في الجزء المشدود والجزء المرتخي من السير، أي $[E = T_B - T_S]$، حيث (E) هي قوة الشد الفعال بالرطل، و (T_B) و (T_S) هما، على الترتيب، قوة الشد في الجزء المشدود والجزء المرتخي بالرطل.

---

(١) Edward B. Dunham, "Aerial Tramways and Cableways" *in Peele's Mining Engineer's Handbook*, 3rd edition, Wiley, New York, 1941, pp. 6-7, 24-25.



الشكل (٥,١٢). مخطط يوضح طريق العربات الهوائية المعلقة.

وتساوي القدرة الحصانية لتحريك السير ما يلي:

$$hp = \frac{E \times S}{33{,}000} = \frac{(T_B - T_S) \times S}{33{,}000}$$

حيث (S) هي سرعة السير بالقدم/ دقيقة. ويجب توافر قوة ساحبة (قوة شد فعالة) وقدرة حصانية للقيام بما يلي: (أ) تحريك السير الفارغ على المسار المائل، و(ب) تحريك الحمولة على السطح الأفقي، و (جـ) رفع الحمولة في الاتجاه الرأسي.

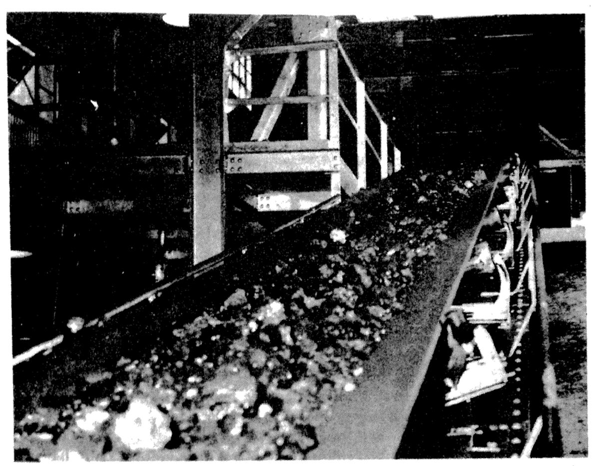
وعند الحاجة لرفع الحمولة مسافة رأسية قدرها (H) قدم فوق المستوى الأفقي على سير مائل (انظر الشكلين ٥,١٣ ، ٥,١٤)، فإن طول السير في الاتجاه المائل هو:

$$L_1 = H/\sin A$$

ووزن الحمولة لكل قدم من طول السير هو، كما رأينا في الفصل الرابع، $\left[\frac{100T}{3S}\right]$، وبذا، يصبح الوزن الإجمالي للحمولة (W) المتجه رأسيا إلى أسفل هو:

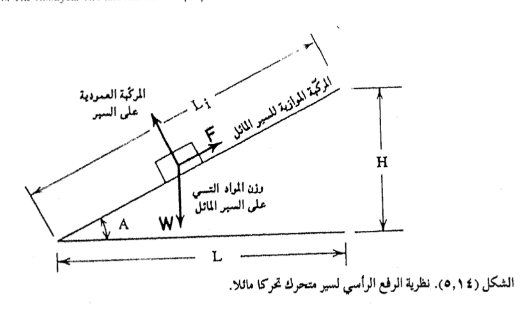
$$W = \frac{100T}{3S} \times \frac{H}{\sin A} = \frac{100TH}{(3S)\sin A}$$

وتحاول مُركّبة الوزن في اتجاه الميل تحريك السير إلى الأسفل، ولذا يجب منعها من ذلك بقوة مساوية لها ومعاكسة لها في الاتجاه (F):



الشكل (٥,١٣). منظر لسير متحرك تحركا مائلا، ويرفع ١٢٠٠ طن من الفحم في الساعة لارتفاع ٨٦٨ قدما.

(Courtesy of The Goodyear Tire and Rubber Company, Akron, Ohio.)



الشكل (٥,١٤). نظرية الرفع الرأسي لسير متحرك تحركا مائلا.

$$F = W \sin A$$

وبالتعويض بقيمة (*W*) في المعادلة، نحصل على:

$$F = \frac{100TH}{(3S)\sin A} \times \sin A = \frac{100TH}{3S}$$

وتساوي القدرةالحصانية اللازمة لرفع الحمولة (أو المتولدة من حركة الحمولة للأسفل) حاصل ضرب القوة في المسافة (بالقدم) التي قطعت في دقيقة واحدة مقسوما على مكافئ شغل الحصان الواحد.

$$hp_v = \frac{100TH}{3S} \times \frac{S}{33{,}000}$$

$$hp_v = \frac{TH}{990}$$

وباستعمال القيم التي توصلنا إليها في الفصل الرابع، فإن القدرة الحصانية اللازمة لتحريك السير الفارغ المستوي ستكون (hp_e) حيث:

$$hp_e = CQ\ (L + L_o) \times \frac{S}{33{,}000}$$

وبترتيب الرموز، تكون القدرة الحصانية للسير الفارغ المستوي:

$$hp_e = \frac{C(L + L_o)\ (SQ)}{33{,}000}$$

والقدرة الحصانية للحمولةفوق سير يتحرك أفقيا هي:

$$hp_L = C(L + L_o)\frac{(100T)}{3S}\ \frac{(S)}{33{,}000}$$

حيث $\left[W = \frac{100T}{3S}\right]$، وبترتيب الرموز، تكون

$$hp_L = C(L + L_o)\frac{(T)}{990}$$

وتساوي القدرة الحصانية للسير المحمل المتحرك على المسار المائل حاصل جمع القدرة الحصانية للسير الفارغ زائدا القدرة الحصانية اللازمة لتحريك الحمولة أفقيا زائدًا أو ناقصا القدرة الحصانية اللازمة لرفع الحمولة أو الناتجة عن انخفاض الحمولة مسافة رأسية قدرها (*H*) قدم:

$$hp = hp_e + hp_L \pm hp_v$$

وبالتعويض بالقيم المقابلة وضرب البسط والمقام في معادلة (hp_e) بالقيمة ٠٣ , ٠ نحصل على:

$$hp = \frac{C(L + L_o)\ (0.03QS)}{990} + \frac{C(L + L_o)\ (T)}{990} \pm \frac{TH}{990}$$

لاحظ أن المقدار $\left[\frac{TH}{990}\right]$ يضاف إذا كانت نقطة خروج الحمولة من السير أعلى من نقطة دخولها فيه، ويخصم إذا كانت أقل ارتفاعا منها.[٢]

وتعتمد قوة الشد القصوى في الجزء المشدود من السير على درجة الالتصاق بين السير والبكرة الدافعة. وإذا اعتبرنا أن الرمز (n) هو عدد دورات السير نصف الدائرية حول البكرة الدافعة، وتساوي طول قوس التلامس مقاسا بمضاعفات الالتفاف نصف الدائري، أو ١٨٠ درجة. وتساوي قوة الشد القصوى المقدار $[T_B = T_s e^{\pi f n}]$ الذي يمكن تحويله إلى معادلة أسية للأساس ١٠ وذلك لعرض المعادلة عَرْضاً أكثر فائدة كالتالي $\left[T_B - T_s = T_s \left(10^{0.00758 f\alpha} - 1\right)\right]$، حيث ($\alpha$) هي زاوية قوس التلامس مقاسة بالدرجات، و (f) هو معامل الاحتكاك. وعند الحاجة لتقليل قوة الشد القصوى (T_B) لتلائم قوة تحمل السير، يجب تقليل قيمة قوة الشد للجزء المرتخي (T_s) وذلك بزيادة قيمة معامل الاحتكاك إما عن طريق تغليف البكرة الدافعة، أو عن طريق توسيع المجرى السفلي للسير لزيادة مساحة التلامس، أو كليهما. وتبلغ قيمة معامل الاحتكاك بين سير مغطى بالمطاط وبكرة حديدية ٠,٢٥. وتزيد قيمة معامل الاحتكاك إذا غلفت البكرة بالمطاط إلى ٠,٠٣٥. وتتراوح القيمة النظرية لمعامل الاحتكاك بين ٠,٥٥ و ٠,٧٥ للأسطح المطاطية المتلامسة النظيفة. ولكن هذه القيم المثالية لا تتحقق في الواقع حيث تتعرض أسطح السير أو البكرة أو كليهما على الأرجح، إلى التأثر بالزيوت أو الأوساخ أو الرطوبة أو الأغبرة. ويمكن زيادة قوس التلامس بين السير والبكرة باستخدام بكرتين دافعتين متداخلتين أو بكرات مزدوجة تدار بمحركات منفصلة.

وعند الشروع في تصميم متطلبات الجر للسير المتحرك، تحسب القدرة الحصانية الضرورية أولا، ثم يتبع ذلك حساب قوة الشد الفعال (E)، وقوة الشد القصوى (T_B)، وقيمة قوة الشد للجزء السفلي المرتخي (T_s). وتعتمد القدرة الحصانية اللازمة لتحريك السير الفارغ على وزنه بالرطل وطوله (لكل مرحلة من مراحل النقل) بالقدم وسرعته بالقدم لكل دقيقة. ويعتمد وزن السير على نوع المادة المستخدمة في صنعه وعدد الطبقات المكونة له وطريقة صنعه وعرضه. ويُختار عرض السير وسرعته حالما تحدَّد سعته المطلوبة مقدرة بالطن لكل ساعة، إذ يعتمدان، بدورهما، على وزن المادة المنقولة لكل قدم مكعب. بعد ذلك، تحدد القدرة الحصانية اللازمة لتحريك الحمولة أفقيا وترفع على السير المائل باستعمال المعادلات السابق شرحها، أو باستخدام القيم التي يوصي بها المصنع في دليل التشغيل. وعادة ما يتم إضافة نسبة ١٠٪ تقريبا على السرعة المطلوبة لتعويض النقص الناتج عن الانزلاق الجانبي للسير.

أما رفع الحمولة رأسيا فيعتمد على طول، ميل السير ودرجته. ويجب ألا تزيد درجة ميل السير على زاوية الاستناد للمواد المنقولة حتى لا تتناثر إلى الأسفل. وتتراوح هذه الزاوية بين ١٠ درجات للقوالب من فحم وغيره

---

(٢) *Goodyear Handbook of Belting: Conveyor and Elevator,* The Goodyear Tire and Rubber Company, Akron, Ohio, 1953, pp. 70-71.

و ١٢ درجة للحصى المغسول و١٥ درجة للحبوب والرمل الجاف و١٨ درجة للحصى الخارج من المحجر والفحم الخارج من المنجم و٢٠ درجة للفحم السائب والمواد الخام المكسرة والرمل الرطب.[٣] وعادة ما تكون القدرة الحصانية اللازمة لرفع الحمولة والتغلب على الارتفاع أعلى من تلك اللازمة لتحريك الحمولة والسير أفقيا. ويجب توفير مكبح لمنع السير من الحركة العكسية عند توقفه.

ويعمل السير المتحرك بسرعة ثابتة إلا أنه يحتاج إلى قدرة إضافية عند بداية التشغيل. والنوع المفضل لمحرك دفع السير المتحرك هو المحرك الدوار المزدوج اللّف أو محرك قفص السنجاب - وهو محرك حث تتألف دارته الثانوية من لفافة قفص السنجاب مرتبة في شقوق قلب حديدي - الذي له عزم لّي مرتفع ويحتاج لتيار منخفض لبدء تشغيله.[٤] والتفاوت في عزم اللّي الابتدائي ضروري بسبب الحاجة لعزم لّي أكبر لجعل السير يتحرك، خصوصا عندما تكون أجزاؤه الحاملة باردة. وتعاني أنواع أخرى من وسائل النقل هذه الصعوبة نفسها.

الميــــول والارتفـــــاع
GRADES AND ELEVATION

ناقشنا فيما سبق تأثيرات الارتفاع على الطائرة والسيور المتحركة. ويبقى علينا بحث تأثير الميول والارتفاع على المركبات البرية خصوصا التي تسير على السكك الحديدية والطرق.

درجة الميـل Gradient. إن إضافة ٢٠ رطلا (٩,٠٧ كغم) لكل طن لكل درجة ميل مئوية واحدة تزيد مقاومة المركبة زيادة ملحوظة يجب التغلب عليها بوساطة جهد الجر، كما تزيد تكلفة التشغيل من جوانب أخرى. ولذا يجب على المهندس الذي يقوم بتوقيع الطريق أن يعمل على تقليل الميول قدر الإمكان. وفي المناطق الجبلية والتضاريس الصعبة، فإن المحافظة على ميل قليل للطريق عادة ما يتطلب عمليات إنشائية مكلفة من حفر وردم، أو إنشاء الجسور أو الأنفاق. وفي بعض الأحيان، قد يكون بالإمكان زيادة طول الطريق للتقليل من درجة ميله، ولكن هذا قد يكون صعب المنال لأن المسافة والمنحنيات الإضافية تتطلب زيادة في تكاليف الإنشاء والتشغيل.

وعلى النقيض من ذلك، فإن العمل على إيجاد ميول في مواقع مختارة أثناء تصميم سكة حديد للنقل العام السريع قد يكون مفيدا. إذ يساعد وجود ميل مرتفع قليلا قبل المحطة وبعدها من الجهتين على تباطؤ القطار والتوقف على رصيف المحطة للتحميل والتنزيل، كما يساهم في التسارع عند مغادرة الرصيف.

الميـل الحـــاكـــم Ruling Grade. يعرف الميل الحاكم للسكة الحديدية بأنه الميل الذي يحدد أقصى حمولة يمكن للقطار نقلها بسرعة معينة وقدرة حصانية معينة. وقد توجد ميول أشد من الميل الحاكم في مسار القطار، ولكن

---

(٣) Wilbur G. Hudson, *Conveyors and Related Equipment*, 3rd edition, Wiley, New York, 1954, p. 229.

(٤) المرجع السابق، ص ٢٣٦ - ٢٣٧.

يجب التغلب عليها باستخدام محركات مساعدة، أو بتقليل حمولة القطار أو بالاعتماد على طاقة كمية التحرك في حالة الميول القصيرة جدا . أما في الطرق، فإن الميل الحاكم يحدد الحمولة القصوى التي تستطيع الشاحنة أو الجرار نقلها بسرعة معينة وبنسبة تروس معينة، عادة ما تكون هي النسبة البطيئة للتروس. وتشمل الأمثلة التوضيحية التالية كلا من مقاومة الجر ومقاومة ميل الطريق. وسنستعمل الظروف المذكورة في الأمثلة السابقة لمقاومة الجر نفسها، باستثناء أن ميل السكة الحديدية التي يسير عليها القطار أصبح الآن ٠,٨٠٪، وميل الطريق للشاحنات ٠,٤٪، بدلا من المستوي سابقا.

وتصبح مقاومة القاطرة، الآن، هي (R_L):

R_L = ٢٤٠ (٣,٧٦ + ٠,٨٠ × ٢٠) = ٤٧٤٢ رطل

ومقاومة الجر الصافية أو قوة جر عمود الجر = ٣٠٨٠٠ − ٤٧٤٢ = ٢٦٠٥٨ رطلاً. وتصبح وحدة المقاومة للعربات على الميل هي (R_c):

R_c = ٦,٥ + ٠,٨٠ × ٢٠ = ٢٢,٥ رطل/ طن

ويمكن تصنيف حمولة القاطرة تحت هذه الظروف عند سرعة ٣٠ ميلاً/ ساعة بأنها تساوي [٢٦٠٥٨ ÷ ٢٢,٥ = ١١٥٨ طنا] وسيتكون القطار، الآن، من (١,١٥٨ ÷ ٤٠ =) ٢٩ عربة. وكما نرى، فإن إدخال ميل قدره ٠,٨٠٪ في السكة يسبب تقليل الحمولة الممكنة للقطار من ١١٥ عربة إلى ٢٩ عربة، كما قلل حمولته الإجمالية التصنيفية من ٤٦٠٠ طن إلى ١١٥٨ طناً إجمالياً، أي ما يعادل ٧٥٪ من الأطنان الإجمالية. ولو كان هناك ٢٠٠٠٠ طن إجمالي يوميا، فإنه يلزم لذلك ٥ قطارات لو كانت السكة مستوية، و١٧ قطارا لو كانت السكة مائلة بدرجة ٠,٨٠ (على فرض أن السرعة تظل ثابتة عند ٣٠ ميلاً/ ساعة).

أما بالنسبة للشاحنات فلو استخدمنا معطيات المثال السابق للجرّار والمقطورة، ولكن مع افتراض وجود ميل في الطريق قدره ٤٪، وأن سرعة التروس الأولى ٩,١٣ ميل/ ساعة، بجهد جر قدره ٦٢٢٨ رطلاً وأن مقاومة الدروج والهواء لا تزال ٢٠ رطلاً/ طن، فإن مقاومة الجر تصبح الآن (R_g):

R_g = ١٦ × (٢٠ + ٤ × ٢٠) = ١,٦٠٠ رطل

وستكون مقاومة الجر الصافية أو قوة عمود الجر للجرّار (٦٢٢٨ − ١٦٠٠ =) ٤٦٢٨ رطلاً. ويساوي وزن الحمولة الإجمالية التي يمكن للجرار سحبها عند سرعة ٩,١٣ ميل/ ساعة: ٤٦٢٨ ÷ (٢٠ + ٤ × ٢٠) = ٤٦,٣ طن. وإذا كانت المقطورة تزن ١٤ طنا، فإن الحمولة الصافية ستكون (٤٦,٣ − ١٤ =) ٣٢,٣ طنا.

الميول المُقيّدة ونسبة الوزن للقدرة الحصانية Limiting Grades: Weight/Horsepower Ratio. لا يستخدم مفهوم الميل الحاكم بكثرة في تصميم الطرق وتشغيلها نظرا لوجود عوامل أخرى عادة ما تكون أكثر تقييدا. وبدلا من ذلك، يستخدم مفهوم الميل المقيد أو درجة الميل القصوى المسموح بها التي تعرف بأنها درجة ميل الطريق الشديدة التي تؤدي إلى خفض سرعة المركبة مما يحد من عدد المركبات التي يمكن أن تقطع الطريق المرتفع بميل في زمن معين. ويتحقق أقصى تدفق لحركة المركبات على الطريق عندما يكون متوسط السرعة حوالي ٣٠ ميلاً في الساعة.

ولذلك، فإن الاختناق المروري سيبدأ على الطرق المزدحمة عندما تنخفض السرعة عن تلك القيمة الحرجة. فعدم قدرة المركبات على الحفاظ على سرعتها أثناء حركتها على الطرق المرتفعة بميل يمكن أن يؤثر تأثيرا عكسيا كبيرا على سعة الطريق. وسنناقش موضوع سعة الطريق في الفصل الثامن.

وتقلل مقاومة ميل الطريق سرعة المركبة. فإذا اقتربت المركبة من بداية طريق مرتفع بميل بسرعة تتراوح بين ٤٠ و ٦٠ ميلا في الساعة (٦٤ - ٩٦ كلم في الساعة)، فإن السرعة ستنخفض بمعدل سريع حتى تصل إلى السرعة القصوى المقابلة للميل المعين للطريق والتي يطلق عليها سرعة التوازن. وعند هذه السرعة، فإن المقاومة الإجمالية لحركة المركبة والجهد الإجمالي للجر يكونان متساويين.

وبالرجوع إلى المثال التوضيحي للجرار والمقطورة المذكور سابقا، مع تجاهل قيود نسبة التروس في ناقل الحركة، واستخدام الجرار نفسه بقدرة حصانية قدرها ٢٨٩ حصانا، ووزن إجمالي للمركبة والحمولة قدره ٤٠ طنا، يمكن تحديد تأثير درجة ميل الطريق على سرعة المركبة. ويجب إضافة مقاومة ميل الطريق إلى مقاومة حواف الإطارات بواقع ٢٠ رطلاً/ طن/ درجة واحدة من ميل الطريق. وإذا اعتبرنا أن متوسط مقاومة حواف الإطارات تساوي، أيضا، ٢٠ رطلاً / طن، فإن المقاومة الإجمالية تصبح ٤٠ × (٢٠ + ٢٠) = ١٦٠٠ رطل. وهكذا فإن السرعة القصوى للمركبة على طريق مائل بدرجة ١ ٪ هي:

V = ٣٧٥ × ٢٨٩ × ٠,٨٢ ÷ ١٦٠٠ = ٥٥,٦ ميل/ ساعة

وقدُحسب إجمالي المقاومة والسرعة القصوى الممكنة للمركبة نفسها أعلاه لعدد من درجات ميل الطريق كما هو مبين في الجدول (٥,١). ويبين العمود الأخير المسافة من بداية ارتفاع الطريق حتى بلوغ سرعة ٣٠ ميلاً في الساعة لمركبة ذات نسبة وزن للقدرة الحصانية قدرها ٢٧٧ رطلاً لكل حصان وسرعتها عند بداية تسلق الطريق ٤٠ ميلاً في الساعة. وتؤدي زيادة طول الطريق المرتفع بميل إلى تقليل سعته. وكلما زادت نسبة الوزن للقدرة الحصانية، أي وزن أكثر للحصان الواحد، قلت مسافة التباطؤ؛ وكلما قلت تلك النسبة تقل المسافة الحرجة التي تقل فيها سعة الطريق.

ويمكن إضافة مسارات لتسلق الشاحنات أو مسارات للتجاوز على الطرق الطويلة المرتفعة بميل شديد في المناطق الجبلية الوعرة للسماح للسيارات والمركبات الأخرى الخفيفة التي لها نسب قليلة للوزن إلى القدرة الحصانية بالاستمرار في حركتها الأسرع دون الحاجة لتخفيض ملحوظ في سرعتها. انظر بحث كمية الحركة التالي لاستكمال الموضوع.

كمية التحرك Momemtum. من المحتمل أن يكون القارئ قد لاحظ أنه يمكن تسلق الطرق الجبلية بسهولة أكثر، ولمسافة أطول وبسرعة أعلى لو كانت سرعة السيارة عند بداية التسلق عالية. وتسمى هذه المسافة التي عملت السرعة على تحقيقها بكمية التحرك momemtum. وفي علوم الميكانيكا، نقول إن جسما ما، بحكم وجوده في مكان مرتفع، يملك طاقة كامنة (طاقة الوضع) والقدرة على الحصول على سرعة عند سقوطه من ذلك الارتفاع، وذلك بسبب تسارع الجاذبية. ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً بالتالي $\left[h = v^2/2g\right]$، حيث إن (h) هو المنسوب أو

ارتفاع السقوط بالقدم، و (v) هي السرعة النهائية التي حصل عليها الجسم بالقدم لكل ثانية. وبالعكس، فإن جسما يتسلق بسرعة (v)، مقاسة بالقدم لكل ثانية، يستنزف طاقته الحركية خلال وصوله إلى ارتفاع معين قدره (h) قدم. وإذا عبّرنا عن السرعة بالأميال في الساعة في المعادلة أعلاه، وأضفنا ٥٪ لإدخال طاقة الدوران المخزونة في العجلات المتحركة، فإن [$h = 0.035V^2$]. فالطاقة المتولدة من كمية التحرك يمكن إضافتها إلى الطاقة التي يبذلها المحرك الأساسي للقاطرة أو جرار الشاحنة.

الجدول (١,٥): خصائص الميول والسرعة لشاحنة وزنها ٤٠ طنا وقدرتها ٢٨٩ حصانا.

ميل الطريق (٪)	المقاومة (رطل)	(نيوتن)	السرعة القصوى (ميل/س)	(كم/س)	المسافة التقريبية لتخفيض السرعة من ٤٠ ميلا/س إلى ٣٠ ميلا/س[أ] (قدم)
١	١٦٠٠	٧١٢٠	٥٥,٦	٨٩,٥	يمكنها الحفاظ على ٤٠ ميلاً/ س (٦٤,٤كم/ س)
٢	٢٤٠٠	١٠٦٨٠	٣٧,٠	٥٩,٥	يمكنها الحفاظ على ٤٠ ميلاً/ س (٦٤,٤كم/ س)
٣	٣٢٠٠	١٤٢٤٠	٢٧,٨	٤٤,٧	٢٩٦٥ قدماً (٩٠٤ أمتار)
٤	٤٠٠٠	١٧٨٠٠	٢٢,١	٣٥,٦	١٣٤٢ قدماً (٤٠٩ أمتار)
٥	٤٨٠٠	٢١٣٦٠	١٨,٥	٢٩,٨	٨٦٧ قدماً (٢٦٤ أمتار)
٦	٥٦٠٠	٢٤٩٢٠	١٥,٩	٢٥,٦	٦٤٠ قدماً (١٩٥ أمتار)
٧	٦٤٠٠	٢٨٤٨٠	١٣,٩	٢٢,٤	٥٠٨ أقدام (١٥٥ أمتار)

(أ) باستخدام معادلات التسارع والتباطؤ الواردة في الفصل الثامن.

ويمكن استخدام هذه الطاقة الإضافية للتغلب على ميل الطريق المرتفع وذلك بمتوسط سرعة عال أو لتسلق منحنى رأسي مرتفع بميول كبيرة. وهكذا، لو اعتمدنا على قدرة المحرك، فقط، فيمكن التغلب على ميل قدره (G_t) لمسافة (L) (مقاسة بعدد المحطات الهندسية التي تبلغ كل منها ١٠٠ قدم)، ولكن الميل الأقصى (G_m) الذي يمكن التغلب عليه بمجموع قدرة المحرك وكمية التحرك معا سيكون:

$$G_m = G_t + 0.035\left(V_i^2 - V_f^2\right)/L$$

حيث إن (V_i) و (V_f) هما السرعة الابتدائية والسرعة النهائية، على التوالي.

فمثلا، يمكن لقطار أو شاحنة الاحتفاظ بحركتهما على طريق مائل طوله ٢٤٠٠ قدم، ودرجة ميله ٢,١٪، بسرعة ١٠ أميال/ ساعة بفضل قدرة المحرك، فقط. ولكن لو كانت سرعة المركبة عند الاقتراب من بداية الطريق المائل هي ٣٠ ميلاً/ ساعة، لأمكن للمركبة الحفاظ على سرعة دنيا قدرها ١٠ أميال/ ساعة، على طريق أكبر ميلا وبالطول نفسه، ويمكن حساب دجة الميل القصوى لذلك كالتالي G_m = [٢,١ + ٠,٠٣٥ (٣٠^٢ – ١٠^٢)] ÷ ٢٤ أو درجة ميل قدرها ٤,٢٪.

ويجب عدم أخذ كمية التحرك في الاعتبار مطلقاً عند تصميم الميول الحاكمة، واعتبارها عاملا من عوامل السلامة، فقط، إذ لو توقف قطار بضاعة محمل في وسط الميل الحاكم فسوف يفقد جميع كمية تحركه، ولن يستطيع البدء في الحركة مرة أخرى لو كانت كمية التحرك مأخوذة في الاعتبار في التصميم. كما تستطيع الشاحنة الحصول على قوة دفع أكبر بتقليل نسبة التروس (إلا إذا كانت أصلا تسير بالترس الأقل)، ولكن على حساب السرعة. ويمكن تسلق الميول القصيرة بالاعتماد على كمية التحرك، سواء في السكك الحديدية أو في الطرق. فالفاقد في السرعة عند صعود الميل يمكن استعادته عند النزول بازدياد السرعة. وعلى ذلك، فمن الممكن اجتياز التلال الصغيرة في الطريق دون الحاجة لزيادة دفع المحرك. إذ تبقى سرعة المحرك ثابتة كلما كان القطار أو الشاحنة يسيران على مستوى أفقي. وقد يكون هناك بعض الفاقد في الوقت ولكن يقابله توفير في الوقود.

عوامل أخرى تتعلق بالطاقة
OTHER POWER RELATED FACTORS

الكفاءة الحرارية واستهلاك الوقود Thermal Efficiency and Fuel Consumption. يحتوي رطل من الفحم أو جالون من زيت الوقود على كمية معينة من وحدات التسخين التي يعبر عنها في نظام القياس الإنجليزي بالوحدات الحرارية البريطانية (و ح ب)، والتي يمكن الحصول منها على طاقة لبذل الشغل. وقد عُرفت الوحدة الحرارية البريطانية (و ح ب) على أنها كمية الحرارة أو الطاقة الضرورية لبذل شغل قدره ٧٧٨ رطلاً- قدم، أو لرفع درجة حرارة رطل واحد من الماء مقدار درجة فهرنهايت واحدة عند الضغط الجوي. ويحتوي الرطل الواحد من الفحم تقريبا مابين ٨٥٠٠ و ١٤٥٠٠ وح ب (٨٩٦٧,٥ × ١٠^{٣} إلى ١٥٢٩٧,٥ × ١٠^{٣} جول). وهكذا نرى أن رطلا واحدا من الفحم يملك طاقة كامنة تكفي لبذل مابين ٦٦١٣٠٠٠ و ١٠٨٩٢٠٠٠ رطل-قدم من الشغل.

ولكن، على الصعيد العملي، يستفاد من جزء صغير من هذه الطاقة الكامنة كقوة للدفع. وتمثل الكفاءة الحرارية النسبة المئوية من الطاقة الكامنة في الوقود، التي تصل إلى حواف الإطارات أو العجلات الدافعة أو ريش الرفاص كقوة دافعة. ويمكن لمحطة طاقة بخارية ثابتة وحديثة أن تحول ما بين ١٨٪ و ٣٢٪ من الحرارة الكامنة في الفحم إلى طاقة بخارية. ولكن، عند حشر محطة بخارية داخل هيكل قاطرة، بالإضافة إلى الفواقد في غلاية التسخين والإشعاعات والاحتكاك الداخلي، فإن صافي الطاقة المتوافرة لجرّ الحمولة تنخفض إلى أقل من ١٠٪ من الطاقة المتوافرة أصلا في الفحم، وقد تصل إلى ٥٪ أو أكثر قليلا بعد تغلب القاطرة على عزوم القصور الذاتي لها ومقاومة الجرّ. وعندما تُحرّك محطة بخارية ثابتة كفاءتها عالية مولدات كهربائية تغذي محركات موضوعة داخل قاطرة كهربائية بالتيار الكهربائي عبر خطوط نقل الطاقة، يمكن، عندئذ، أن تتحسن الكفاءة. فلو كانت كفاءة المحطة البخارية هي ٣٠٪ وكفاءة المولد الكهربائي ٩٠٪ وكفاءة خطوط نقل الطاقة ٩٠٪ وكفاءة محرك الجرّ والتروس ٨٥٪، فإن الكفاءة الإجمالية هي ٢٠٪ (أي ٢٠٪ من الطاقة الكامنة في رطل واحد من الفحم)، وهي المتوافرة للقوة الدافعة عند عجلات القاطرة أو الحافلة الكهربائية أو قطار النقل العام السريع. وفي السفن، تقل هذه الكفاءة بمقدار ٥٠٪ تقريبا بسبب الفواقد في عمود الإدارة والرفاص. أما في محطة ضخ الماء، فإن الطاقة

الكامنة الابتدائية تعتمد على العمود الهيدروليكي وعمود سرعة جريان الماء، اللذين تقل قيمتاهما بسبب فواقد الجريان الداخلي للماء واحتكاك القنوات. . . إلخ (انظر الجزء الذي يتحدث عن مقاومة الجريان في الفصل الرابع)، كما تعتمد، أيضا، على مقدار الفواقد الميكانيكية وعامل الاستغلال للعجلات التوربينية.

ويستطيع محرك الاحتراق الداخلي أن يحول تقريبا مابين ٣٠٪ و ٣٥٪ من الحرارة الكامنة في رطل من الوقود السائل إلى طاقة مفيدة. كما يجب تقليل هذه القيمة بسبب الفواقد الناتجة عن عدم الاحتراق الكامل والإشعاع والرطوبة الموجودة في الوقود والجو. وتتراوح الكفاءة الحرارية للمحرك الديزل-كهربائي بين ١٨٪ و٢٦٪. وعلى فرض أن كفاءة المولد ٩٢٪، وكفاءة المحرك والتروس ٨٥٪، فإن متوسط الكفاءة الحرارية الإجمالية هو ٢٣,٥٪. وإذا كانت الفواقد الميكانيكية للمحرك المصمم لاستخدامه في تحريك الشاحنات تعادل ١٥٪، فإن الكفاءة الحرارية النهائية الواصلة لحواف الإطارات تعادل ٢٥٪. أما لو كان المحرك يدفع رفّاص طائرة بكفاءة قدرها ٧٥٪، فإن الكفاءة الحرارية الواصلة للرفاص تقل إلى ١٨,١٪. أما لو كان المحرك لسفينة بفواقد قدرها ٥٠٪ ناتجة بسبب عمود الإدارة والرفّاص، فإن الكفاءة تعادل حوالي ١٢,٨٪.

وبما أن عدد الوحدات الحرارية لرطل من وقود الديزل تزيد على عدد الوحدات لرطل من الفحم بمقدار يقارب ٦٠٠٠ وح ب، فيمكن القول إن محرك الاحتراق الداخلي أكثر اقتصادا في استهلاك الوقود. وبالطبع، هناك فروق في عدد الوحدات الحرارية الموجودة في البنزين والكيروسين وغيرها من مشتقات النفط الأخرى. وتبرز بعض التساؤلات حول الوفرة النسبية لمختلف أنواع الوقود وتأثيرها على الاقتصاد الوطني والسياسات الوطنية لترشيد استخدام الموارد. وتبرز، أيضا، تساؤلات للناقلين في المؤسسات الخاصة حول تفضيل نوع من الوقود على آخر. كما تظهر مشكلة أخرى تتعلق بالتأثير المقابل لاستخدام واسطة نقل معينة بدلا من واسطة أخرى على الاقتصاد الوطني والحفاظ على الموارد، وذلك بسبب تأثير طريقة استغلال الوقود ودرجته لكل نوع منها. وهناك اهتمام يتزايد بسرعة حول كمية الملوثات التي يتسبب بها كل نوع من القوى المحركة (انظر الفصل التاسع). وهذه التساؤلات تتطلب قرارات حاسمة لضمان توافر موارد وطنية مستقبلية للطاقة، وللمحافظة على الصحة العامة للمواطنين.

وللكفاءة الحرارية تأثير مباشر وواضح على تكاليف الوقود في عمليات النقل. فالمحرك الأساسي الذي كفاءته الحرارية ٢٥٪ يتطلب ٤ أضعاف الوحدات الحرارية التي يحتاجها محرك بكفاءة ١٠٠٪. كما أن المحرك الذي كفاءته ٢٠٪ فقط سيتطلب ٥ أضعاف الوحدات الحرارية لذلك. أما ماذا يعني ذلك بعدد أرطال الوقود المطلوبة وتكلفتها المادية، فهذا يعتمد على ما إذا كان الفحم أو البنزين، أو الكيروسين أو نوع آخر من الوقود هو المستخدم مصدراً للوحدات الحرارية. ومع ذلك، فإن المركبة التي تستعمل محركا أساسيا له أعلى كفاءة حرارية سيكون أكثر اقتصادا في استهلاك الوقود وتكلفته من المحركات الأخرى التي تستعمل النوع نفسه من الوقود.

وتمثل المناقشة أعلاه الجانب النظري للموضوع. ولكن عمليا، فإن الكفاءة الحرارية ليست العامل الوحيد الذي يحدد الكمية الفعلية للوقود المستهلك، على سبيل المثال، إذ تشمل العوامل الأخرى جودة نوعية الوقود وأداء المحرك ومهارة السائق والوقت الذي تمضيه المركبة بدون حركة رغم تشغيل المحرك والأحوال الجوية.

وسنبحث موضوع استهلاك الطاقة في الفصل التاسع. أما في الصفحات التالية فسنبحث العوامل الإضافية التي تؤثر على استهلاك الوقود.

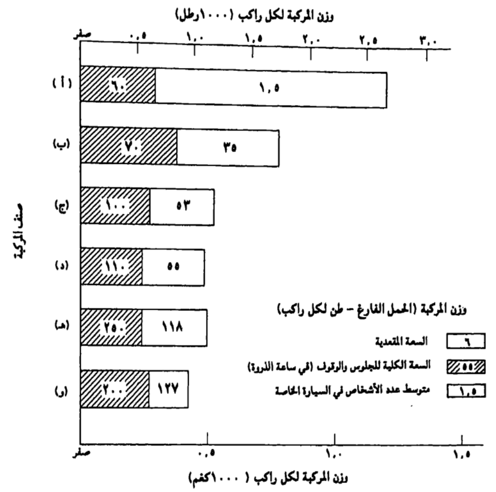
نسبة الوزن الفارغ لوزن الحمولة Dead-Load-To-Pay-Load Ratio. لقد أوجدت علاقة بين المقاومة لحركة المركبة والقدرة الحصانية للمحرك الأساسي الضرورية للتغلب على تلك المقاومة وكمية الوقود المستهلك خلال هذه العملية. وهناك عامل آخر مهم في نظام المركبة والقوة الدافعة هذا، وهو العلاقة بين وزن المركبة ووزن الحمولة، والذي يعبر عنه بالنسبة بينهما. وعموما، فإن الرمز ($R_{p/e}$) يمثل نسبة وزن الحمولة القصوى إلى وزن المركبة فارغة. وبالطبع، فإن الوزن الإجمالي للمركبة يشمل وزنها الفارغ إضافة إلى الحمولة.

وعلى ذلك، فإن الشاحنة المزدوجة (جرار ومقطورة) التي تزن فارغة ٢٠ طنا (ولكن بخزان وقود ممتلئ)، وسعة حمولتها ٤٠ طنا، سيكون قدر نسبة وزن الحمولة للوزن الفارغ ٢,٠ .

أما بالنسبة لمركبات نقل الركاب، فإن هذه النسبة يعبر عنها، عادة، بالوزن الفارغ لكل مقعد. فمثلا، في الشكل (٥,١٥)، تعطي السيارة ذات الـ٦ مقاعد ٨١٢ رطلا (٣٦٨,٦ كغم) كنسبة لوزنها الفارغ لكل مقعد، إذ إن وزن السيارة الإجمالي هو ٢,٤ طن (٢,٢١ طن متري) شاملا وزن المحرك وجسم السيارة والإطارات والهيكل وأجزاء السيارة الأخرى. وتصل تلك النسبة لأحدث عربة للنقل العام السريع إلى ٨٩٠ رطلاً (٤٠٤ كغم)، من وزن العربة، لكل واحد من ركاب العربة الجالسين والواقفين، والذين يصل عددهم إلى ١٠٠ راكب. وعند اعتبار العربة التي سعتها ٣٠٠ راكب معظمهم من الواقفين، فإن النسبة تصل إلى ٢٩٧ رطلا (١٣٤,٨ كغم) من وزن العربة لكل راكب.

ومن الواضح أن هناك عديداً من الطرق التي يمكن استخدامها للتعبير عن العلاقة بين وزن المركبة وسعتها التحميلية. فمثلا، يبين الجدول (٥,٢) بعض القيم النمطية لنسبة وزن الحمولة إلى الوزن الفارغ، ويمكن بالطبع عكس القيم في الجدول لتبين نسبة الوزن الفارغ لكل طن من الحمولة.

وكلما كان وزن المركبة الفارغ خفيفا مقارنة بوزن الحمولة الممكنة، كان التشغيل أفضل أداء من جميع النواحي. ولذلك، يحاول مصممو المركبات تخفيف وزنها الفارغ وذلك باستعمال مواد خفيفة الوزن وإلغاء جميع المعدات غير الضرورية. وبالطبع، فإن هناك حدودا معينة لتخفيف وزن المركبة تحددها اعتبارات متانة الهيكل لأجل السلامة وراحة الراكب والتكاليف النسبية للصيانة. وأحيانا تُدْخل تعديلات جذرية في التصميم لتقليل الوزن الفارغ، مثل استخدام الهيكل الأنبوبي، كما في الطائرات والقطار التوربيني، واستخدام مواد خفيفة الوزن. ومما يزيد في تعقيد هذه المشكلة أن الوقود يشكل جزءا كبيرا من الحمولة. إذ تفقد الطائرة جزءا كبيرا من قوة الرفع الإجمالية في حمل الوقود، خصوصا في الرحلات الطويلة والعابرة للقارات. وبالمثل، فإن هناك علاقة مهمة بين مسافة الرحلة التي تقوم بها الباخرة وسعة الحمولة التي يمكنها نقلها. وكلما ازدادت المسافة بين الموانئ ازدادت الحاجة إلى تخزين كمية أكبر من الوقود، وبالتالي، إلى حيز أقل للبضائع. وتستهلك السرعات الأكبر الوقود في وقت أسرع لمسافة الانتقال نفسها، مما يتطلب حيزا أكبر للوقود مقارنة مع الحيز المعد للركاب أو البضائع.



(أ) سيارة خاصة تزن طنين (١,٣٨ طن متري) وبها ٦ مقاعد ومعدل إركابها ١,٥ شخص.
(ب) حافلة تزن ٣٠ طنا (٢٧,٢١ طن متري) وبها ٣٥ مقعدا وتتسع لـ ٧٠ شخصا.
(جـ) حافلة تزن ٣٠ طنا (٢٧,٢١ طن متري) وبها ٥٣ مقعدا وتتسع لـ ١٠٠ شخص.
(د) عربة قطار أنفاق تزن ٣٠ طنا (٢٧,٢١ طن متري) وبها ٥٥ مقعدا وتتسع لـ ١١٠ أشخاص.
(هـ) عربة قطار ضواحي تزن ٦٥ طنا (٥٩ طنا متريا) وبها ١١٨ مقعدا وتتسع لـ ١١٨ شخصا.
(و) عربة قطار ضواحي تزن ٦٠ طنا (٥٤,٤٢ طنا متريا) وبها ١٢٧ مقعدا وتتسع لـ ٢٠٠ شخص.

الشكل (٥,١٥). الوزن الفارغ للمركبة لكل مقعد إركاب لعدد من مركبات النقل العام النموذجية في المناطق الحضرية.

أما القطارات والمركبات البرية، فتحمل كمية يسيرة من الوقود بالنسبة لوزن الحمولة لأن طول الرحلة عادة ما يكون قصيرا نسبيا، ويمكن، بسهولة، التوقف من وقت لآخر للتزود بالوقود. وأيضا، فإن وحدة مقاومة الدفع لها قليلة مقارنة بالطائرات والبواخر. ومن ناحية أخرى، فإن النقل عبر الأنابيب والسيور المتحركة والعربات الهوائية والقطارات الكهربائية لا يواجه مشكلة تخزين الوقود. إذ إن مصدر الطاقة المحركة لهذه الوسائل يكون في محطة توليد الطاقة الثابتة بعيدا عن المركبة، ويتم نقل الطاقة الكهربائية إلى مصدر القوة الدافعة بدلا من حمل

الوقود مع البضاعة . وفي هذه الحالة، يمكن استعمال جميع الحيز الموجود لتحميل الناس والسلع . والاستثناء الوحيد لذلك هو عندما تشغل محطات الضخ في خطوط الأنابيب باستخدام وقود الديزل الذي يحصل عليه من الحمولة نفسها التي يتم ضخها عبر خط الأنابيب .

الجدول (٥,٢): القيم النمطية للحمولة بالأطنان لكل طن من الوزن الفارغ[أ].

نوع المركبة	الوزن الفارغ بالأطنان	وزن الحمولة بالأطنان	وزن الحمولة بالأطنان لكل طن من الوزن الفارغ
عربات شحن بالسكك الحديدية	٢٠ إلى ٣٠	٥٠٠ إلى ١٠٠	٢,٥ إلى ٤,٢
عربات ركاب بالسكك الحديدية	٤٠ إلى ٦٠	٢,٣ إلى ٤,٥	٠,٠٦ إلى ٠,٠٨
شاحنات على الطرق	٢ إلى ٨	٤ إلى ٢٠	٢,١ إلى ٢,٥
شاحنات مزدوجة على الطرق (جرار ومقطورة)	١١ إلى ٢٠	١٠ إلى ٤٠	٠,٩١ إلى ٢,٠
سيارات - ٦ ركاب	١,٢ إلى ٢,٦	٠,٣٢ ألى ٠,٤٨	٠,٢٧ إلى ٠,١٨
حافلات آلية - ٢٨ إلى ٤٥ راكباً	٥ إلى ١٦	٢,١٠ إلى ٣,١٨	٠,٢١ إلى ٠,٤٢
سفن بضائع سائبة في البحيرات	٦٠٠٠ إلى ١٤٠٠٠	٩٠٠٠ إلى ٢٦٠٠٠	١,٥ إلى ١,٩٦
صنادل نهرية	١٦٠ إلى ٥٥٠	١,٠٠٠ إلى ٣,٠٠٠	٦,٢٥ إلى ٥,٤٥
زورق قطر يدفع ١٠ صنادل (وزن زورق الدفع ٥٠٠ إلى ٨٠٠ طن)	٢١٠٠ إلى ٨٨٠٠	١٠٠٠٠ إلى ٣٠٠٠٠	٤,٧٦ إلى ٣,٤١
طائرة شحن جوي	١٢ إلى ٢٤٠	٣,٦ إلى ١٠٠	٠,٣٠ إلى ٠,٤٢
طائرة ركاب (٢٨ إلى ٤٥٠ راكباً مع العفش)	١٢ إلى ٢٤٠	٢,١ إلى ١٠٠	٠,١٨ إلى ٠,٤٢

(أ) الطن الواحد يساوي ٠,٩٠٧ طن متري .

القدرة الحصانية لكل طن صاف من الحمولة Horsepower per Net Ton of Pay Load. من أهم المقاييس التي تستعمل في تحديد سعة المركبة وتكلفتها القدرة الحصانية المطلوبة لنقل طن واحد من الحمولة مسافة ميل واحد، أو نقل راكب واحد مسافة ميل واحد . ويعرف الجميع أن لتوليد القدرة الحصانية تكاليف مادية . فالنسبة العالية للقدرة الحصانية إلى الوزن الإجمالي للمركبة تدل على أن نسبة صغيرة، فقط، من القدرة الحصانية تستغل في نقل الحمولة . في هذه الحالة، تستهلك النسبة العظمى من القدرة في مقاومة القوى المضادة للحركة . ويبين الجدول (٥,٣) قيما نمطية لتلك النسبة مبنية على ظروف التشغيل العادية بالمعدات المألوفة .

وتتراوح السعة التحميلية للشاحنة، عادة، بين ٠,٥٠ طن (٤٥٣,٦ كغم) و ٥٠ طناً (٤٥,٣٦ طن متري) . وتشكل الشاحنات ذات السعة التحميلية المصنّفة بـ ٥٠٠٠ رطل (٢٢٧٠ كغم) نسبة ٤٥٪، بينما تتعدى حمولة ٤٪ فقط، من الشاحنات ٢٦٠٠٠ رطل(١١٨٠٤ كغم) . وبالمقابل، تتراوح القدرة الحصانية التصنيفية للشاحنات بين ١٠٠ و ٣٥٦ حصاناً . ويمكن للشاحنة المزدوجة المكونة من جرار ومقطورة أن تنقل نحو ٢٠ إلى ٤٠ طنا صافيا (١٨,١ إلى ٣٦,٢ طنا متريا) في المقطورة التي سعتها مابين ١٩٠٠ و ٢٥٠٠ قدم مكعب تقريباً، والتي يجرها

جرّار قدرته مابين ١٢٨ و ٢٨٠ حصاناً. وبذلك يعطي مابين ٤,٦ و ٧,٠٧ حصان لكل طن صاف. ولكن، عادة ما تتراوح حمولة المقطورة بين ١٠ و ١٥ طناً (٩,١ إلى ١٣,٦ طن متري)، مما يعطي ١١,٣٣ حصان لكل طن صاف. وهذه النسب أعلى للشاحنات والسيارات منها للقطارات، مما يبين أن مقاومة الدفع للمركبات على الطرق أعلى منها للقطارات. ويمكن أن تصل سعة المركبات الثقيلة المستخدمة في نقل الفحم والمواد الخام إلى ١٠٠ طن (٩٠,٧ طن متري) أو أكثر، بقدرة ٤٨٠ حصاناً، أي بنسبة ٤,٨ حصان لكل طن من الحمولة.

الجدول (٥,٣): قيم نمطية لنسب القدرة الحصانية لكل طن صاف.

نوع المركبة	القدرة الحصانية(أ) لكل طن صاف	القدرة الحصانية لكل راكب
عربات شحن بالسكك الحديدية	١,٢٥ إلى ٢,٥٤	
عربات ركاب بالسكك الحديدية		٥ إلى ٣٠
عربة نقل عام سريع مستعملة في خط خليج سان فرانسيسكو		٨,٣ (جلوس)
عربة نقل عام سريع قياسية (وزارة النقل الأمريكية)		٦,٠ (جلوس)
		٢,٣ (مع الواقفين)
عربات قطارات الضواحي بدورين		١,٩ (جلوس)
عربات النقل العام السريع بشيكاغو		٢,٦ (مع الواقفين)
سيارة ركاب	٢٤,٠ إلى ٩٢,٠	٦,٠ إلى ٤٣,٠
شاحنات على الطرق	٦,٠ إلى ٧,٠	
مقطورات نهرية	٠,١٢ إلى ٠,٢٠	
سفن شحن سائب	٠,٢٦ إلى ٠,٣٥	
طائرات شحن	٦,٦٧ إلى ٢٤٠	
طائرات ركاب		١٤٠ إلى ٢٣٠
خطوط أنابيب (نفط)	٢,٠ إلى ٣,٠	
سيور متحركة	١٠,٠ إلى ٢٠,٠	
عربات هوائية (أسلاك هوائية)	٠,٢٧ إلى ٢,٠	

(أ) قدرة الحصان الواحد تساوي ٧٤٥,٦ واط.

وتتميز السيارات بارتفاع النسبة القصوى للقدرة الحصانية للحمولة بدرجة عالية مقارنة بالشاحنات، والتي تساوي ٢٠٠ حصان لكل طن أو ١٥ حصاناً للراكب الواحد، بالنسبة لسيارة قدرتها ٩٠ حصاناً وفيها ٦ مقاعد. وترتفع هذه النسبة بدرجة أكبر للسيارات الحديثة المجهزة بقدرة حصانية عالية.

وقد يتكون قطار بضاعة حديث من وزن إجمالي قدره ٥٠٠٠ طن (٥, ٤٥٣٥ طن متري)، منها ٢٢٧٠ طناً صافياً (٢٠٥٩ طناً مترياً). وبفرض أن مقاومة القطار هي ٥ أرطال/ طن (٣, ٢ كغم/ طن) عند سرعة ٢٠ ميلاً/ ساعة (٢, ٣٢ كم/ ساعة) ومقاومة الميل الذي قدره ٦, ٠٪ للسكة هي ١٢ رطلاً/ طن (٥, ٥ كغم/ طن). فيكون مجموع وحدة المقاومات ١٧ رطلاً/ طن (٧, ٧ كغم/ طن)، أي مقاومة إجمالية قدرها ٨٥٠٠٠ رطل (٣٨٥٩٠ كغم). وبالتعويض في معادلة القدرة الحصانية:

$$hp = R \times V/308$$

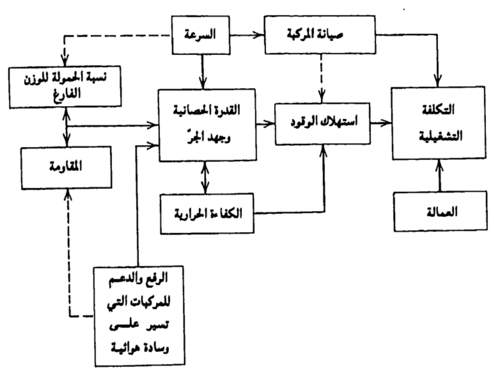
فإننا نحتاج إلى hp = ٨٥٠٠٠ × ٢٠ ÷ ٣٠٨ = ٥٥١٩ حصاناً. وعلى ذلك، فإن ثلاث قاطرات، كل منها بقدرة ٢٠٠٠ حصان، ستكون قادرة على جرّ القطار على سكة بميل ٤, ٠٪ إلى ٦, ٠٪، وسرعة ٢٠ ميلاً/ ساعة؛ وبذلك، نحصل على نسبة للأحصنة إلى الوزن الصافي قدرها ٦٤, ٢ حصان/ طن صافي. ويمكن تحقيق أداء أفضل قدره ٢٥, ١ حصان لكل طن صاف عند سرعة أقل قدرها ١٥ ميل/ ساعة على سكة بميل ٥٠, ٠٪، وذلك عند استخدام قطارات بوزن إجمالي قدرهً ٨٠٠٠ طن صاف (٧٢٥٧ طناً مترياً) (أي وزن إجمالي قدره حوالي ١٣٠٠٠ طن أو ١١٧٩٢ طناً مترياً) ويتم تشغيلها بخمس قاطِرات قدرة الواحدة منها ٢٠٠٠ حصان.

وتزن العربة القياسية للنقل العام السريع (لوزارة النقل الأمريكية) ٨٩٠٠٠ رطل (٤٠٤٠٦ كغم) وهي فارغة، وسعتها التصميمية ١٠٠ مقعد. وعند تحميلها الكامل، فإن وزنها الإجمالي يصبح ١٠٤٠٠٠ رطل (٤٧٢١٦ كغم). وتزوّد بالطاقة بوساطة أربعة محركات قدرة كل منها ١٥٠ حصانا، مما يعطي نسبة قدرها ٠, ٦ حصان لكل راكب. وتلبي هذه القدرة الحصانية العالية الحاجة للحركة بسرعة عالية قدرها ٨٠ ميلاً/ ساعة، ومعدل تسارع قدره ٠, ٣ أميال/ ساعة/ ثانية. أما عند تحميل العربة إلى سعتها التي تصل إلى ٣٠٠ راكب جلوسا ووقوفا، فإن النسبة تنخفض إلى حصانين/ راكب، أو ١٢ حصاناً/ طن.

وتحمل سفن البضائع الحديثة في البحيرات ما يصل إلى ٤٠٠٠٠ طن (٣٦٢٨٤ طناً مترياً) من البضاعة (خامات المعادن، فحم، حبوب. . . إلخ). وتزوّد بالطاقة بوساطة محركات قدرتها ٥٠٠, ١٠ حصان، مما يعطي نسبة منخفضة قدرها ٢٦, ٠ حصان لكل طن صاف من الحمولة. أما سفن الصهاريج الضخمة العابرة للمحيطات وسفن البضائع السائبة التي بنيت للإبحار حول قناة السويس، فتستطيع حمل ما يتراوح بين ٤٠٠٠٠ و٦٠٠٠٠ طن من البضاعة بمحركات تتراوح قدرتها بين ١٢٥٠٠ و١٦٠٠٠ حصان، ونسبة ٣١, ٠ إلى ٢٧, ٠ حصان لكل طن صاف.

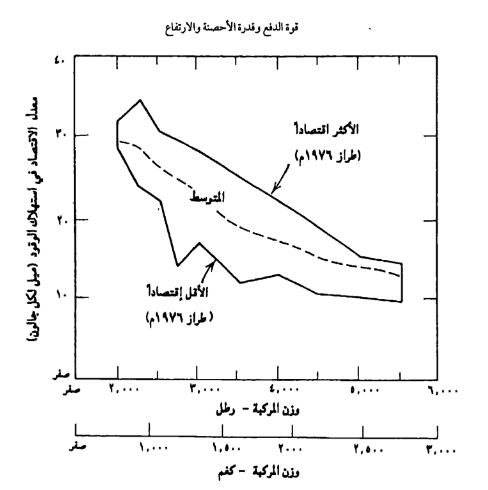
أما في النقل النهري فيمكن دمج ١٠ أو أكثر من الصنادل التي تزن الواحدة منها ٢٠٠٠ طن، وقَطرُها بوساطة زورق القطر الذي قدرته ٢٤٠٠ حصان، أي أن الزورق يقوم بقطر حمولة إجمالية قدرها ٢٠٠٠٠ طن (١٨١٤٢ طناً مترياً) بنسبة قدرها ١٢, ٠ حصان لكل طن صاف، وهذه النسبة أقل حتى من تلك الخاصة بسفن البحيرات والمحيطات. ولكن هذا التحميل الثقيل ليس معتادا، بل القاعدة هي استخدام نسب أعلى وإن كانت أقل جاذبية. كما يعد المعدل المنخفض للسرعة عاملا مهما أيضا. ومع ذلك، حتى لو استخدم زورق القطر نفسه في قَطر ٦ صنادل كما هو الشائع، فإن مجموعة الصنادل هذه تعطي وزنًا صافيًا قدره ١٢٠٠٠ طن صاف، ونسبة قدرها ٢٠, ٠ حصان لكل طن صاف.

الاقتصاد في استهلاك الوقود Fuel Economy. يعتمد استهلاك الوقود لمركبة تسير بسرعة معينة على القدرة الحصانية لمحركها والكفاءة الحرارية والوزن الإجمالي للمركبة ووحدة مقاومة الدفع. كما يعمل ميل الطريق، بالإضافة إلى تأثيره على تكاليف تشغيل المركبة الواحدة، على تحديد عدد المركبات اللازمة لنقل حجم معين من المرور. فكلما زاد الحجم المنقول بوساطة قدرة حصانية معينة، بكمية الوقود نفسها وللوزن الفارغ نفسه، زاد الاقتصاد في استهلاك الوقود، وما يترتب عليه من تكلفة مادية. فاستهلاك الوقود لمركبة بقدرة حصانية معينة سيزيد وتزيد تكلفته لو زادت سرعتها (بسبب زيادة المقاومة الدافعة مع مربع السرعة). ولذلك، تتطلب المركبات ذات السرعات العالية جدا محركات أساسية أضخم بتكاليف رأسمالية وتكاليف صيانة عالية. كما تتطلب المركبات التي تدعم بتيار هوائي أو وسادة هوائية قدرة حصانية إضافية، وتستهلك وقودا أكثر من أجل ذلك الدعم. ويوضح الشكل (١٦ ,٥) هذه العلاقات بيانيا.



الشكل (٥,١٦). العوامل التقنية في التكاليف التشغيلية للمركبة.

وكما ذكرنا سابقا، فإن تخفيض وزن السيارة يقلل من استهلاكها للوقود. ويبين الشكل (١٧ ,٥) العلاقة بين استهلاك الوقود ووزن المركبة. ويتضح من الشكل أن انخفاضا في وزن السيارة من ٣٠٠٠ رطل إلى ٢٠٠٠ رطل يحقق توفيرا في الوحدات الحرارية البريطانية (و ح ب) بمقدار ١٤٪. وهذا ما يشير إلى أهمية استعمال السيارات الصغيرة الخفيفة في سبيل المحافظة على موارد الطاقة.



الشكل (٥,١٧). تأثير وزن المركبة على استهلاكها للوقود.

ويمكن تخفيض وزن السيارة من خلال تحسين التصميم الإنشائي وتخفيض السعة والحجم الإجمالي وباستعمال معادن ومواد لدنة خفيفة الوزن. وقد بينت الاختبارات التي أجرتها مصلحة حماية البيئة الأمريكية أن معدل استهلاك الوقود للسيارات يتراوح بين ٢٨,٧ ميل/ جالون و أقل من ٨ أميال/ جالون، لعدد من السيارات الصغيرة والكبيرة الحجم.[(٥)] وقدرت دراسة أخرى أنه من الممكن توفير ٣٠٪ من استهلاك الوقود إذا استعملت سيارات أصغر وأخف.

وتزيد المقاومة مع مربع السرعة، ويرافق ذلك زيادة في استهلاك الوقود. وتعمل السرعات البطيئة على إهدار الوقود من خلال الاحتراق غير الكامل داخل المحرك. ويقال إن أفضل مدى للسرعة في السيارات من ناحية الاقتصاد في استهلاك الوقود هو بين ٥٠ و ٥٥ ميلاً في الساعة (٨٠ و ٨٦ كلم في الساعة). فإذا خفضت السرعة

---

(٥) *"The Potential for Energy Preparedness,"* U.S. Office of Energy Preparedness, Washington, D.C., October 1972.

بنسبة ١٠ ٪ فسيعمل ذلك على تخفيض الاستهلاك بنسبة ٢٠ ٪. أي أنه إذا كانت السيارة تستطيع قطع ٢٠ ميلا في الجالون الواحد من الوقود عند سرعة ٦٠ ميلاً/ ساعة (٥, ٩٦ كلم/ س)، فإنه يمكن زيادة عدد الأميال المقطوعة للجالون الواحد إلى ٢٤ ميلاً/ جالون وذلك بتخفيض سرعتها إلى ٥٤ ميلاً/ ساعة (٩, ٨٦ كلم/ س).

ومما يؤثر على استهلاك الوقود كذلك مستوى الخدمة وأحوال الطريق. فالسيارة أو الحافلة داخل المدن تتعرض إلى توقف مستمر (مع دوران المحرك) بسبب وجود الإشارات الضوئية وعلامات الوقوف والمشاة. ويؤدي التسارع والتباطؤ المتكرران عند علامات الوقوف والإشارات الضوئية، أو مع تغير الكثافة المرورية والازدحام، إلى زيادة في استهلاك الوقود. وتستهلك قطارات النقل العام السريع كميات كبيرة من الطاقة بسبب التوقف المتكرر عند المحطات والتسارع والتباطؤ المتواصلين بمعدلات كبيرة. وتبين الاختبارات التي أجرتها مصلحة حماية البيئة الأمريكية، للتمييز بين استهلاك الوقود في القيادة داخل المدن وخارجها أن قيادة المركبات داخل المدن تستهلك كمية أكبر من الوقود، إذ يقل عدد الأميال التي تقطعها المركبة في الجالون الواحد من الوقود بنسبة تتراوح بين ٢٠٪ و ٤٠٪ داخل المدن عنها خارج المدن.

أما العوامل الأخرى التي تؤثر على استهلاك الوقود والتكاليف التشغيلية، فتشمل نوع الطريق وتصميمه وسعته وحالة صيانته. كما يزيد استخدام تكييف الهواء من استهلاك الوقود بنحو ١٠٪، كما هو الحال في جهاز ناقل الحركة الآلي الذي يزيد الاستهلاك بالنسبة نفسها.[٦] ويقلل كل من استعمال الإطارات الشعاعية وانسيابية المركبة استهلاك الوقود.

وقد يكون قياس استهلاك الوقود لكل وحدة مرورية أكثر أهمية من قياسه الاستهلاك لكل مركبة أو لكل ميل. ويبلغ استهلاك الوقود لكل راكب في سيارة صغيرة للاستعمال الخاص التي عادة ما يكون معدل إركابها ٥, ١ راكب، ٤ أضعاف استهلاكها عند تحميلها بسعتها الكاملة، وهي ٦ ركاب. ومعدل استهلاك الوقود لكل راكب في قطار النقل العام السريع المزدحم خلال ساعات الذروة أقل بكثير من استهلاك الوقود لكل راكب عندما تسير القطارات شبه فارغة في غير ساعات الذروة. ولا تزال مشكلة اختيار المزيج المناسب من وسائط النقل لتقديم خدمة لائقة مع الاقتصاد في استهلاك الوقود قائمة ولم تحسم مناقشتها بعد، وهذا موضوع تحت البحث والدراسة في دوائر أبحاث النقل. ونود أن نوجه عناية القارئ إلى لائحة القراءات المقترحة أدناه، وخاصة المراجع ١٤ و١٥ و١٦، التي تبحث هذا الموضوع بإسهاب أكثر. أما الجوانب الأخرى المهمة لتكلفة التشغيل، فسنناقشها في الفصل الثاني عشر.

---

(٦) المرجع السابق نفسه.

أسئلــــة للـدراســـة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - باستخدام قيم الكفاءة الحرارية والميكانيكية المعطاة في هذا الفصل، احسب الكفاءة الحرارية الإجمالية لخطوط الأنابيب، وللسيور المتحركة، وللعربات الهوائية.

٢ - قاطرة ديزل-كهربائية قدرتها ٢٤٠٠ حصان، وتزن ١٣٠ طنا، ووحدة المقاومة الدافعة لها هي ٥ أرطال / طن عند سيرها بسرعة ٢٠ ميلاً / ساعة على سكة حديد مستوية ومستقيمة. كم عدد العربات التي سعتها ٦٠ طنا يمكن لهذه القاطرة جرّها على سكة حديد مستوية ومستقيمة؟ وقارن أداءها عند سيرها على السكة المستوية مع أدائها لو سارت على سكة مائلة بارتفاع درجته ٠,٨٪.

٣ - باستخدام القاطرة في السؤال الثاني، ارسم منحنى يبين العلاقة بين القدرة الحصانية لكل طن ودرجة الميل عندما تأخذ القيم ٠,٥٪، و١٪، و٢٪، و٣٪.

٤ - تزن شاحنة آلية ٥ أطنان وهي فارغة، وتستطيع بذل جهد قدره ١٨٠ حصانا عند دوران المحرك بمعدل ١٤٤٠ دورة في الدقيقة. ونسب التروس لناقل الحركة هي كما يلي: النسبة البطيئة (الأولى) ٦,٠٠ إلى ١، والثانية ٣,٠٠ إلى ١، والثالثة ١,٧٠ إلى ١، والرابعة ١ إلى ١، ونسبة التروس للمسنن التفاضلي هي ٥,٩٠ إلى ١. ومقاس الإطارات هو ٣٢ بوصة × ٦ بوصات، وتنخفض بمقدار ٠,٤٠ بوصة في المتوسط عند التحميل. ومساحة المقطع العرضي للشاحنة هو ٨٠ قدماً مربعاً. وتسير الشاحنة على طريق خرساني أملس. حدد ما يلي:

(أ) قيمة جهد الجرّ الصافي للجرّار والسرعة المقابلة عند نسبة التروس العالية (الرابعة) وذلك عندما تكون الشاحنة فارغة.

(ب) وزن الحمولة الممكنة عند تلك السرعة المحسوبة في (أ).

(جـ) تأثير وجود ميل قدره ٥٪ في الطريق على وزن الحمولة الممكنة.

٥ - ارجع إلى السفينة المذكورة في السؤال الثاني في الفصل الرابع. حدد قدرة الرفّاص الحصانية وقدرة عمود الإدارة الحصانية اللازمين لتحريك السفينة.

٦ - ارجع إلى السؤال الثامن في الفصل الرابع. حدد القدرة الحصانية للمضخّة وقدرة المحرّك الأساسي اللازمتين لو استخدمنا مضخة ترددية ثلاثية المكابس ومزدوجة الفعل (أي عاملة باتجاهين).

٧ - ارجع إلى السؤال التاسع في الفصل الرابع. احسب القدرة الحصانية اللازمة لكل من سرعتي السير المتحرك عندما: (أ) يتحرك أفقياً، (ب) يتحرك مائلاً بدرجة ميل قدرها ١٢ درجة.

٨ - احسب القيمة النظرية لاستهلاك الوقود لكل ميل ولكل طن لـ: (أ) القطار المذكور في المسألة الثانية عند حركته على سكة مستوية، وعند حركته على سكة مائلة بدرجة ميل قدرها ٠,٨٠٪. (ب) الشاحنة المذكورة في المسألة (٤ب). ما العوامل العملية التي تجعل الاستهلاك الفعلي مختلفا عن هذه القيم النظرية؟

٩ - ارجع إلى السؤال الثالث في الفصل الرابع وارسم القدرة الحصانية لعمود الإدارة اللازمة لطائرة تحلق على ارتفاع ١٠٠٠٠ قدم بسرعات ٢٠٠ , و٢٥٠ , و٣٠٠ ميل/ ساعة، مع افتراض أن كفاءة الرفاص هي ٨٠٪ .

١٠ - يستطيع قطار اجتياز منحنى رأسي يرتفع بطول ٤٠٠٠ قدم، ودرجة ميل ٠,١٪، بسرعة ١٠ أميال/ ساعة، إذا توقف عند بداية الميل وانطلق من جديد. حدد السرعة التي يستطيع بها القطار اجتياز المنحنى الرأسي إذا كان يسير بسرعة ٥٠ ميلاً/ ساعة عند وصوله لبداية الميل.

١١ - ما الآثار المترتبة على صدور تشريع بإلزام جميع الشاحنات بسرعة قصوى قدرها ٥٥ ميلاً/ ساعة على الاقتصاد في الوقود وعلى التكاليف التشغيلية العامة؟

قـــــراءات مقـترحـــــة
SUGGESTED READINGS

1. R. P. Johnson, *The Steam Locomotive,* Simmons-Boardman, New York, 1945.
2. Charles F. Fowll and M. E. Thompson, *Diesel-Electric Locomotive,* Diesel Publications, New York, 1946.
3. W. W. Hay, *Railroad Engineering,* Vol. I, Wiley, New York, 1953.
4. A. M. Wellington, *The Economic Theory of the Location of Railways,* Sixth Edition, Wiley, New York, 1887, Chapters IX, X, XIV, XX.
5. Wilbur G. Hudson, *Conveyors and Related Equipment,* 3rd edition, Wiley, New York, 1954, Chpters 10 and 119.
6. F. V. Hetzel and Russel K. Albright, *Belt Conveyors and Belt Elevators,* 3rd edition, Section I, Belt Conveyors, Wiley, New York, 1941.
7. John Walker Barriger, *Super-Railroads,* Simmons-Boardman, New York, 1656, Chapter II.
8. Noël Mosert, *Supership,* Knopf, New York, 1974.
9. *Vehicle Characteristics,* REC 344, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1971.
10. Berry, Blomme, Shuldiner, and Jones, *Technology of Urban Transportation,* Northwestern University Press, Evanston, Illnois, 1963.
11. A.S. Lang and R. M. Soberman, *Urban Rail Transit,* JOint Center for Urban Studies, The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1964.
12. *Urban Rapid Transit: Concepts and Evaluation,* Carnegie-Mellon University, Transportation Research Institute, Research Report No. 1, Pittsburgh, Pennsylvania, 1968.
13. *Big Load A float;* U. S. Domestic Water Transportation Resources, publishes by The American Waterways Operators, Inc., Washington, D. C., 1973.
14. *The Potential for Energy Conservation,* United States Office of Emergency Preparedness, Washington, D. C., October 1972.
15. *The Role of the U. S. Railroads in Meeting the Nation's Energy Requirements,* Proceedings of a Conference sponsored by the U. S. Department of Transportation, the Federal Railroad Administration, and the Wisconsin Department of Transportation, published by the Graduate School of Business, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, October 1974.

16. A C. Malliaris and R. L. Strombotne, *Demand for Energy by the Transportation Sector and Opportunities for Energy Conservation,* Presented at a "Conference on Energy—Demand, Conservation, and Institutional Problems," Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 12.14 February 1970.
17. E. Hirst, *Energy Intensiveness of Passenger and Freight Transport Modes,* 1950-1970, Oak Ridge National Laboratory Report ORNL-NSF-EP-44, April 1973.

الفصل السادس

الطريق
ROADWAY

يعد الطريق أحد العناصر الخمس الرئيسة للنظم التقنية للنقل. وترتبط الطرق بتصميم المركبات وطاقة المحركات، وذلك من خلال أحمال المركبة، وبالميول والمنحنيات التي تضع قيودا على حجم المركبة وسرعتها وجهد الجرّ لها. كما ترتبط الطرق، أيضا، بالتحكم التشغيلي من خلال سعة الطريق والإرشاد وفصل المركبات عن بعضها.

وظائف الطريق
ROADWAY FUNCTIONS

تعرّف مساحة الأرض المخصصة لمسارات السكك الحديدية ومرافقها والطرق والقنوات المائية وخطوط الأنابيب والسيور المتحركة بحرم الطريق. فالممرات المائية الطبيعية لها أحواضها الخاصة ومجاريها التي تجري فيها. وتدفن خطوط الأنابيب تحت الأرض، ويفضل أن تكون تحت عمق خط التجمد. أما الطرق الجوية فترتبط بتضاريس الطريق من خلال النظر المجرّد للطيار أو من خلال علامات الطريق المحدّدة بوساطة الأجهزة اللاسلكية، وعند مدارج المطار وممراته، فقط.

وتوفر الطرق الدعم للمركبات تحت ظروف الطقس كافة وتسهل تصريف مياه الأمطار وتساعد على الالتصاق الاحتكاكي اللازم للتسارع والتباطؤ والالتفاف حول المنحنيات وذلك من خلال التصميم الهندسي لعرض الطريق والتقاطعات والميول الجانبية وتصريف مياه الأمطار ومسافة الرؤية... إلخ، كما توفر القدرة على الحركة والتجاوز بسلام عند مستويات خدمة محددة.

الإرشـاد Guidance. تقوم السكك الحديدية وخطوط الأنابيب والسيور المتحركة وقضبان القطارات الوسطية أو الجانبية بالإرشاد المباشر لحركة المركبة أو البضاعة. وأحيانا، يستعمل لفظ «المرشد» بدلا من الطريق للإشارة إلى هذه الوظائف.

الدعـم Support. من المهام الرئيسة لهياكل الرصف والسكك الحديدية حمل أحمال العجلات وتوزيعها إلى تربة القاعدة الترابية ضمن حدود سعة تحملها. وقد يسبب ذلك تشوها أو انحناء. إن النجاح في توزيع الأحمال والعمر المحتمل للرصف أو لسكة الحديد يعتمدان جزئيا على مقدار الانحناء في أجزائها الإنشائية العليا وعلى مقدار التشوه أو الإجهاد في القاعدة الترابية. وتتعرف بعض أنظمة التصميم على انهيار القاعدة الترابية من خلال زيادة الإنحناء عن الحد الأقصى المسموح به. وفي السكك الحديدية، يمكن أن يحصل الإجهاد الزائد عندما يصل الإنحناء إلى مابين ١٠, ٠ و ٤٠, ٠ بوصة (٣, ٠ إلى ١, ٠ سم). أما في الرصف فيمكن أن يحدث ذلك عند انحناء قدره ٠١, ٠ بوصة (٠٣, ٠سم)؛ وغالبا ما تستخدم القيم المقيدة التي تتراوح بين ١٠, ٠ إلى ٢, ٠ بوصة (٣, ٠ إلى ٦, ٠سم).

ولا يمكن تحليل الرصف والسكة الحديدية وتصميمهما بمعزل عن المركبة. ويشكل الطريق والمركبة معا نظاما تتفاعل فيه المركبة مع الطريق الذي يوفر لها الدعم. ويشمل هذا المفهوم العلاقات البسيطة بين ترتيب العجلات وتوزيع الحمولة، وتأثير الاهتزازات الديناميكية، خصوصا في حركة القطارات على السكك الحديدية التي لا زالت محل الدراسات الموسعة الجارية. وتأخذ دراسات الاهتزاز العشوائي والتصميم الأمثل للرصف، من حيث إنشاؤه وصيانته، في اعتبارها خشونة الرصف وسرعة المركبة وتردد الاهتزازات الناجمة عن حركتها. وعادة ما تكون الأحمال على السكة الحديدية والرصف أكثر بكثير من قدرة مواد القاعدة الترابية للطرق والسكك الحديدية. (انظر الجدول ١, ٦).

القاعدة الترابية Subgrade. تحقق القاعدة الترابية الأغراض التالية: (أ) تلقّي الأحمال المسلطة وتوزيعهما حتى تتلاشى وحدة الضغط، و(ب) تسهيل تصريف مياه الأمطار، و(جـ) توفير أرضية ممهدة ومتطابقة مع الميول المحددة لإنشاء هيكل الطريق فوقها. ويجب أن توفر القاعدة الترابية الدعم الكافي لأحمال العجلات، مع ضمان عدم تجاوز الحد الأدنى من التشوهات المرنة واللدنة التي تقلل عمر أجزاء الطريق وتتسبب في وعورة الطريق عند حركة المركبات ومحتوياتها فوقه. وهناك قليل من أنواع التربة التي تملك هذه الدرجة من المقاومة العالية على الدوام. إذ تتجاوز الأحمال المسلطة سعة التحميل لمعظم أنواع التربة التي تتحمل عادة ما بين ٥ و ٥٠ رطلاً/ بوصة مربعة (٠٣٤, ٠ إلى ٣٤, ٠ ميغاباسكال). ولأن مرور العجلات على سطح القاعدة الترابية قد يتسبب في كشط السطح أو تخديده، لذلك توضع طبقة حاملة أو سطحية فوق القاعدة الترابية. ففي السكك الحديدية، تؤدي السكة وحصى الفرش لها هذه الوظيفة، أما في الطرق ومدارج الطائرات وممراتها فيستخدم أحد أنواع الرصف لذلك. وسنؤخر الحديث عن السكة الحديدية وحصى الفرش لها إلى نهاية الفصل.

الجدول (٦,١): قيم نمطية لأحمال العجلات لوسائط النقل المختلفة .

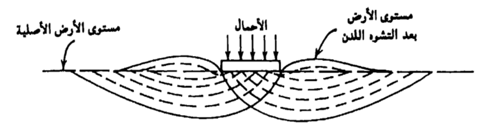
نوع الناقلة		الأحمال الإجمالية للعجلات (رطل)	مساحة التلامس (بوصة مربعة)	وحدة الأحمال على السكة الحديدية (أو على الرصف) (رطل/بوصة مربعة)
قاطرات				
ديزل-كهربائية	٢٥,٠٠٠	±٠,٣	٨٣,٣٣٣	
محركات الطريق	٣٠,٠٠٠		١٠٠,٠٠٠	
محرك التحويل	١٠,٠٠٠	±٠,٣	٣٣,٣٣٣	
		٢٠٠٠٠		٦٦٦٦٧
عربات السكة الحديدية (محملة)		٢٦٠٠٠	±٠,٣	٨٦٦٦٧
		٣٨٠٠٠		١٢٥٠٠٠
السيارات (محملة)		١٠٠٠	±٢٠	٥٠
الشاحنات		٤٠٠٠	±٦٠	٦٧
إطارات الطائرات الثقيلة(أ)		٨٠٠٠	±١٠٠	٨٠
عجلات فردية				
الأحمال الإجمالية للعجلة		٦٠٠٠٠	٥٢٧	١١٤
		١٠٠٠٠٠	٧٩٨	١٢٥
		١٤٠٠٠٠	١٠٨٠	١٣٠
العجلات المزدوجة				
إجمالي الحمولة	٦٠٠٠٠	٣٠٠٠٠	٣٢٥	٩٢
	١٠٠٠٠٠	٥٠٠٠٠	٤٦٤	١٠٨
	١٤٠٠٠٠	٧٠٠٠٠	٦١٢	١١٤

(أ) H. O. Sharp, g. R. Show, and J. A. Dunlop, *Airport Engineering,* Wiley, New York, 1944, p.71.

وتتوقف قدرة تحمل القاعدة الترابية للأحمال أو استقرارها على خصائص التربة المكونة لها ومميزاتها ومدى ملاءمة تصريف المياه والأحمال المسلطة على الطريق وعمق توزيع الأحمال وشدتها ونوع سطح الطريق. ويمكن تخفيض شدة الأحمال عن طريق التصميم الجيد لسطح الطريق. ولكن، بما أن تكلفة إنشاء القاعدة الترابية وتسويتها ودكها أرخص من تكلفة رصفها، فيجب توجيه الاهتمام والجهد نحو زيادة قدرة تحمل القاعدة الترابية نفسها وليس سطحها.

نـظـريـــات تـوزيـــع الأحـمـــــــال
THEORIES OF LOAD DISTRIBUTION

إذا حمّلنا كتلة من التربة بإطار مطاطي أو بعارضة سكة حديدية أو ببلاطة رصف، فإننا نلاحظ أن التربة تنضغط وقد تتحرك إلى أعلى حول المنطقة المحمّلة منها. فإذا عادت التربة المضغوطة (مثل القاعدة الترابية) إلى طبيعتها ومستواها السابق بعد إزالة الأحمال عنها، فنقول إن التربة قد تشوهت تشوها مرنا. ولكن إذا بقيت على حالتها المضغوطة والمتخددة بعد إزالة الأحمال عنها، فنقول إن التربة قد تشوهت تشوها لدنا، أي انهارت. (انظر الشكل ١ ,٦).



الشكل (٦,١). انهيار القاعدة الترابية: حالة اللدونة.

توزيع الضغط Distribution of Pressure. يمكن بيان أن شدة الضغط الناتجة عن حمل معين تتناقص مع العمق وأنها تتوزع بشدة ضغط متفاوتة حول سطح ما على عمق معين تبعا للتوزيع التكراري الطبيعي أو ما يسمى بتوزيع جاوس (Gauss) التكراري الذي يأخذ شكل الجرس. ويمكن فهم ظاهرة انحناء الرصف باستعمال قانون هوك (Hooke's Law) الذي يقول إن الإجهاد يتناسب طرديا مع الانفعال، أي $[S = E\sigma]$، حيث إن (S) هو الإجهاد، و (σ) هو الانفعال، و (E) هو معامل المرونة للمادة. وقد قام الباحث تالبوت (Talbot) بتحليل توزيع الضغط على السكة الحديدية ووضع العلاقة التالية $(p = \mu y)$ حيث إن (p) تمثل الحمل، و (y) تمثل الانحناء، و (μ) تمثل معامل مرونة السكة الحديدية أو صلابة دعائم السكة.

وتتكون الرصفيات المرنة، عادة، من عدة طبقات تحتوي، في الأقل، على السطح الملامس لإطارات المركبات وطبقة الأساس، وإذا كانت تربة القاعدة الترابية ضعيفة فيمكن تقويتها بوضع طبقة ما تحت الأساس فوقها، وينطبق الوضع نفسه على السكة الحديدية المكونة من القضبان والعوارض وحصى الفرش للأساس وما تحت الأساس. وفي مرحلة التصميم، يجب أن يؤخذ قرار معين حول طريقة حساب معامل المرونة لمختلف المواد المستعملة في إنشاء الطريق. فإما أن تستعمل قيمة متوسطة لمعامل المرونة (E) لجميع المواد المستعملة، وإما أن تُوَجد قيمة معينة لهذا المعامل لكل طبقة من طبقات الطريق. وهذه المشكلة، بالذات، أدت إلى وضع أسلوب نظام الطبقات المرنة التي جاء بها بورمستر (Burmister)، وكذلك نظرية طبقة القص لبارنبرلج (Barenberg)، وأسلوب تحليل العناصر المتناهية، وغيرها.

وباستخدام تطبيق بوسنسك (Boussinesq) لقانون هوك، فإنه يمكن حساب الانحناء عند عمق معين (Z) ولحمل معين. وإذا اعتبرنا أن الحمل يتركز في نقطة، فستكون معادلة بوسنسك كالآتي:

$$\sigma_Z = K\frac{P}{Z^2}$$

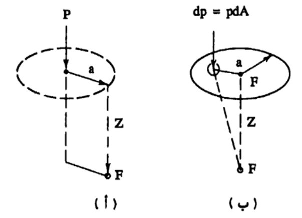
حيث إن (σ_Z) هو الإجهاد الرأسي مقاسا بالرطل لكل بوصة مربعة، و (P) هو الحمل المسلط بالرطل، و (Z) هو العمق تحت نقطة تسليط الحمل. وفي هذه المعادلة:

$$K = \frac{3}{\pi}\ \frac{1}{\left[1+\left(\frac{r}{Z}\right)^2\right]^{5/2}}$$

حيث (r) هي المسافة النصف قطرية من نقطة تسليط الحمل. انظر الشكل (٦,٢). أما عندما يكون الحمل منتشرا على شكل لوح محمل فإن الإجهاد على المستوى الرأسي المارّ بمركز اللوح المحمل يصبح:

$$\sigma_Z = p\left[1-\frac{Z^3}{\left(r^2+Z^2\right)^{5/2}}\right]$$

حيث (p) هي وحدة الحمل للوح دائري بنصف قطر قدره (r) (أو لإطار له مساحة تلامس وضغط معلومين).



(أ) حمل مركز في نقطة (ب) لوح دائري محمّل

الشكل (٦,٢). الضغط على القاعدة الترابية نتيجة تحميل مساحة معينة حسب اقتراح بوسنسك.

وتعرف نسبة بواسون (Poisson) التي يرمز لها بالرمز (μ) بأنها نسبة الانفعال المتعامد مع الإجهاد المسلّط إلى الانفعال الموازي لذلك الإجهاد. وهذه النسبة تساوي عادة ٠,٥٠ للتربة. وإذا دمجنا المعادلات الخاصة بالإجهاد الرأسي الواقع على سطح رأسي عبر مركز السطح مع معادلات الانفعالات نصف القطرية التي تعتمد على قيمة ٠,٥ لنسبة بواسون، فإننا نستطيع كتابة معادلة بوسنسك الخاصة بالانحناء عند مركز لوح دائري (Δ) كالآتي:

$$\Delta = \frac{3p\ (r^2)}{2E\ (r^2 + Z^2)^{\frac{1}{2}}}$$

والتي يمكن كتابتها، أيضا، على النحو التالي

$$\Delta = (p\ (a)/E)\ F$$

حيث إن

$$F = \left(\frac{3}{2}\right) \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{Z}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

و (F) هو متغير يعكس نسبة العمق لنصف القطر. وإذا استعملنا لوحا مرنا بحيث تأخذ (F) قيمة ٥ , ١ عند سطح التلامس، أي عندما تكون قيمة (Z) = صفر فتصبح المعادلة:

$$\Delta = 1.5 \frac{pr}{E}$$

أما إذا كان اللوح قاسيا فإن (F) تساوي

$$F = 1.18\ \left(\frac{pr}{E}\right)$$

ويمكن حساب قيمة (F) لمختلف النسب الممكنة لـ $\left(\frac{Z}{r}\right)$ لتسهيل حساب الانحناء أو معامل المرونة عند تحميل معين للوح. وبقياس مقدار الانحناء تحت تأثير حمل معين ومساحة تلامس معينة، يمكن حساب معامل المرونة للتربة أو لطبقة الرصف. وتفترض طرق الحساب العادية أن القاعدة الترابية للطريق هي سائل كثيف له رد فعل يعتمد خطيا على الانحناء. وعادة ما يستعمل لوح مستدير نصف قطره ٣٠ بوصة لإجراء هذه الحسابات. أما تطبيق طريقة انحناء اللوح القاسي في حسابات الرصفيات الصلبة حسب طريقة وسترجارد (Westergaard) فستبحث في الجزء الخاص بالرصفيات الصلبة. ويمكن، أيضا، استخدام مقدار الحمل (ضغط الإطار) ونصف قطر مساحة التلامس للإطار لحساب تأثيراتها المباشرة.

معادلة تالبوت Talbot's Equation. طوّر الدكتور أ. ن. تالبوت ولجنته المهتمة بدراسة الإجهادات في السكك الحديدية علاقة رياضية تجريبية صيغتها:

$$p_c = \frac{16.8 p_a}{h^{1.25}}$$

حيث (p_c) هو مقدار الضغط بالرطل/ بوصة مربعة عند أي عمق معين (h) بالبوصة تحت مركز عارضة السكة تحت القضبان، و (p_a) هو متوسط وحدة الحمل على مساحة وجه العارضة الملامس لحصى الفرش نتيجة الانضغاط. ويمكن حساب الضغط عند أي نقطة تبعد مسافة بوصة عن يمين مركز العارضة أو يسارها تحت السكة بالمعادلة:

$$p_x = \frac{16.8 p_a}{h^{1.25}} (10)^m$$

حيث

$$m = -6.05 \left(\frac{x^2}{h^{2.5}} \right)$$

وتعطي هذه المعادلات دقة معقولة بين عمقي ٤ و ٣٠ بوصة (١٠,٢ و ٧٦,٢سم) تحت العارضة. [١] ويوضح الشكل (٣, ٦) الانخفاض في الضغط مع العمق تحت القضبان عند التحميل الساكن لعربة سكة حديدية بمحورين وتزن ٦٠ ألف رطل (٢٧٢٤٠كغم) لكل محور.

وتسمح الأشكال البيانية لنيومارك (Newmark) بإجراء التحليلات لأعماق أكبر، وهي مبنية على معادلة بوسنسك. [٢]

عنـــاصر جسم الطـريـــــق
THE ROADWAY STRUCTURE

بسبب الأحمال الثقيلة لعجلات المركبات الحديثة والضعف النسبي لقدرة تحمّل القاعدة الترابية للطريق، فلا بد من وجود طبقة متوسطة بين أحمال العجلات والقاعدة الترابية.

الرصفيـات Pavements. تعمل الرصفيات غطاء للقاعدة الترابية للطرق ومدارج المطارات وممراتها، وتؤدي عدة وظائف تشمل:

(أ) تلقي الأحمال وتوزيعها حتى تتلاشى وحدة الضغط إلى القدر الذي تستطيع القاعدة الترابية تحمّله، وبذلك تقلل احتمال تخدّد الطريق.

(ب) تحمي الرصفية سطح الطريق من عواقب مياه الأمطار، وذلك بتصريف المياه بعيدا عن أجزاء الطريق الحاملة وقاعدته الترابية.

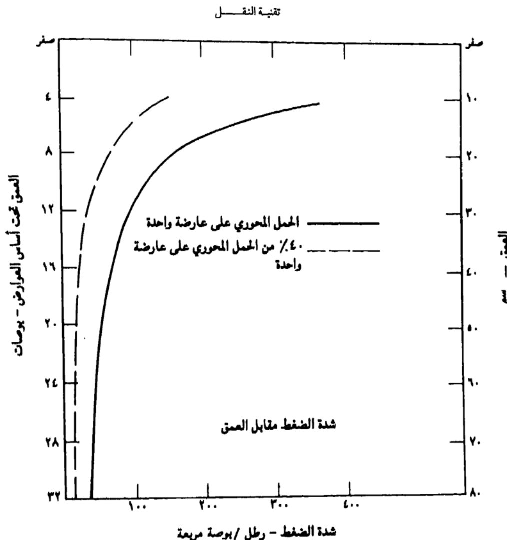
(جـ) تخفف البرْي والتدهور والاهتراء في القاعدة الترابية نتيجة حركة العجلات عليها أو تزيلها تماما.

أنواع الرصـف Pavement Types. تتفاوت أنواع الرصف من البلاطات الخرسانية شبه الصلبة التي توضع مباشرة فوق سطح القاعدة الترابية، مرورا بعديد من أنواع الرصف المرن سواء بطبقة واحدة أو المتعدد الطبقات، إلى طريقة وضع المواد المنتقاة (رمل أو حصى) في المستويات العليا من القاعدة الترابية حيث تكون شدة التحميل أقصى

---

(١) A. N. Talbot, Second Progress Report of Special Committee to Report on Stresses in Railroad Track, *Proceedings of American Railway Engineering Association*, Vol. 21, 1920, Chicago, Illinois, pp. 645-814.

(٢) Nathan M. Newmark, Influence Charts for computation of Vertical Displacements in Elastic Foundations, *University of Illinois Engineering Experiment Station Bulletin 367*, Urbana, Illinois, pp. 645-814.



الشكل (٦،٣). توزيع الحمل مع تغير العمق حسب معادلات تالبوت.

ما يمكن. وتصنف رصفيات الطرق عادة إلى نوعين رئيسين، الرصفيات الأولى مرنة، والثانية صلبة أو قاسية، مع وجود تصنيفات أخرى بينهما. والفرق بين الصلابة والمرونة هنا هي مسألة نسبية تتفاوت مع درجة الصلابة أو المرونة. فنجد أن في الرصف الأكثر صلابة درجة من المرونة كما تصل صلابة عديد مما يسمى بالرصف المرن إلى صلابة الخرسانة.

وتعمل المرونة المنخفضة للرصف الصلب على توزيع أحمال العجلات على مساحة أوسع من القاعدة الترابية. لذا، فإن الاختلافات البسيطة في قدرة تحمل القاعدة الترابية تعد عديمة التأثير. ويمكن صبّ البلاطات الخرسانية مباشرة فوق القاعدة الترابية، ولكن في الإنشاءات الثقيلة الحديثة تُنشأ طبقة أو أكثر من طبقات الأساس تحت البلاطات الخرسانية.

أما الرصفيات المرنـة، فتستعمـل سطحا قليـل السمـاكـة (السّمْك) نسبيا يوضع مباشـرة فـوق طبقة أسـاس رقيقـة من الحصى أو الحصى المكسور الموضوعة فوق القاعدة الترابيـة، وذلـك فـي الـطـرق الثانوية. أما في الطرق الرئيسية، فتستعمل مع ذلك طبقة أو أكثر من طبقات ما تحت الأساس. وعند استخدام مواد غير منتقاة لطبقة الأساس أو ما تحت الأساس، فإنه يمكن إدخال غطاء ترشيح من المواد المتدرجة (أو أحد أنواع الأغطية الأليافية المبتكرة حديثا) بين الطبقة السفلى والقاعدة الترابية، وذلك لتقليـل الارتفاع الشعري للرطوبة واختـراقهـا المتبـادل بين القـاعـدة التـرابيـة وطبـقـة الأسـاس.

وتعد طريقة مـاكـآدم (Macadam) المشهورة جدا أحد أنواع الرصف المرن التي تتكون من طبقة أو أكثر من طبقات الأساس المكونة من حصى مكسور مغطى أعلاها بجزيئات ناعمة، مثل نخالة الحجر الجيري التي تعطي صلابتها كسطح للطريق عن طريق رشها بالماء أو غبار الحجر الجيري أو الزفت.

تصميم الرصـف المـرن
FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN

تتفاوت طرق التصميم من الطرق التجريبية التي تربط السماكة (السّمْك) ببعض المؤشرات القليلة لخصائص مواد نظام الدعم، إلى التحليلات الرياضية التي تتطلب تفاصيل كثيرة عن الطبيعة المعقدة للمواد وللبيئة التي تستخدم فيها. ويبدو أن طرق التصميم الأبسط هي السائدة، وذلك لسهولتها من ناحية، ولصعوبة الحصول على المعطيات الكافية لإيجاد علاقات رياضية معقولة من ناحية أخرى.

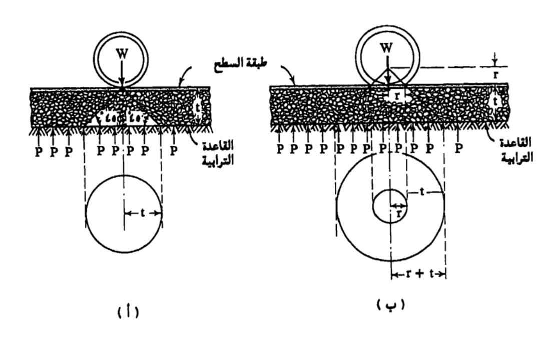
سُمْك (سماكـة) الرصـف Pavement Thickness. يعد تصميم سماكة الرصف مسألة أساسية. وهو يشمل تحديد السماكة المطلوبة لطبقات الأساس، وما تحت الأساس وذلك لمزيج معين من المواد والأحمال والظروف البيئية من أجل توفير قوة التحمل المطلوبة. وتعد كمية الانحناء التي يتعرض لها الرصف مقياسا لعمره المحتمل وقدرة تحمله. ويعتمد ذلك على كمية الأحمال الملقاة عليه، وعلى قدرة الدعم للقاعدة الترابية وعلى قدرته على توزيع الأحمال. ويفترض التوضيح المبسط لتأثير عامل سماكة الرصف على توزيع الأحمال أن توزيع الحمل الناتج عن كل عجلة يكون على شكل مخروط بميل قدره ٤٥ درجة تقريبا. وقيمة القوة المنتظمة لرد فعل القاعدة الترابية (قدرة التحمل) هي (p) رطل/ بوصة مربعة، كما في الشكل (٤، ٦). ويعمل تفلطح الإطار على نشر الحمل على مساحة صغيرة، نفرض أنها دائرية، وذلك للسيارات والشاحنات الخفيفة بنصف قطر قدره (r). وتساوي القيمة المتحفظة لـ(r) حاصل قسمة العرض الاسمي للإطار مقسوما على ٤.

وإذا ساوينا الحمل (W) بقوة دعم القاعدة الترابية عند قاعدة المخروط نجد أن[٣] $\left[W=\pi\ (t+r)^2 p\right]$، وكذلك $\left[t=0.546\ \sqrt{W/p}\right]$. وبالنسبة لأحمال العجلات الأثقل للشاحنات الضخمة والطائرات، فيفترض أن مساحة التلامس

(٣) A.H. Oakley Sharp, G. Reed Shaw, and John A. Dunlop, *Airport Engineering*, Wiley, New York, 1944, p. 6

ذات شكل بيضاوي (قطع ناقص) عرضه يساوي تقريبا العرض الاسمي للإطار. ويمكن حساب طول القطع الناقص بافتراض أن الحمل الفعلي = ضغط الانتفاخ × مساحة القطع الناقص = ضغط الانتفاخ × (πab) حيث إن (a) هي نصف القطر الأكبر للقطع الناقص للتلامس، و (b) هي نصف القطر الأصغر له. وكما سبق، فإن $[W = \pi(a+t)\ (b+t)p]$ وإن:

$$t = \sqrt{\frac{W}{\pi p} - a b + \left(\frac{a+b}{2}\right)^2} - \left(\frac{a+b}{2}\right)$$



(أ) بافتراض أن الإطار غير منبسط (ب) بافتراض أن الإطار منبسط

الشكل (٦,٤). نظرية المخروط لتوزيع أحمال العجلات.

نسبة قوة تحمل كاليفورنيا California Bearing Ratio (CBR). من العوامل المهمة في طرق تصميم الرصف المرن، خاصة عند استخدام طريقة آشتو (AASHTO)، قدرة تحمل التربة أو الطبقة الترابية للحمولة. وغالبا ما يستخدم اختبار نسبة قوة تحمل كاليفورنيا (CBR) لذلك الغرض. ويجرى هذا الاختبار بقراءة مدى اختراق مكبس قياسي مساحة مقطعه ٣ بوصات مربعة (١٩,٣٨ سم مربع) داخل عينة مدكوكة بطريقة قياسية على نسبة رطوبة مقررة في قالب قياسي. ثم تحسب نسبة الأحمال التي تعطي اختراقا قدره ٠,١٠ بوصة (٠,٢٥٤ سم) إلى الأحمال التي تعطي الاختراق نفسه ولكن داخل عينة من الأحجار المسحوقة العالية النوعية (والتي تعد قيمة CBR لها = ١٠٠). وهذه النسبة بين تلك الأحمال هي نسبة قوة تحمل كاليفورنيا (CBR) للمادة التي يجري اختبارها.

طريقة آشتو AASHTO Method. تنطبق طريقة آشتو على تصميم الرصف المرن الذي يتكون من السطح، وطبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس. وقد استخلصت هذه الطريقة من سلسلة من التجارب على طرق فعلية أنشئت خصيصا لذلك في ولاية إلينوي بالولايات المتحدة، وتحتوي تلك الطرق على أنواع مختلفة من الرصف المرن. وقد اكتملت تلك التجارب سنة ١٩٦٠م وظهرت نتائجها سنة ١٩٦٢م في تقرير منشور.

و صدر من ذلك التقرير «دليل مؤقت» يبين كيفية الاستفادة من نتائج تلك التجارب في تصميم الرصف.[٤] وبما أن أكثر تركز للأحمال يكون قرب سطح الرصف، حيث تُسلّط الأحمال، فإنه يتم وضع الطبقات الأفضل نوعية قرب ذلك السطح. وتنشأ قوة التحمل في الرصف المرن عن طريق نقل الأحمال بالتتابع من طبقة إلى أخرى، بحيث يصبح ما يصل من ثقل على وحدة المساحة لكل طبقة أقل من قدرة تحمل الطبقة وحتى تصل إلى القاعدة الترابية؛ بعكس الرصف الصلب الذي يكتسب قوته من قوة الانحناء في بلاطة الرصف لتلقي الإجهادات الناتجة عن الأحمال، ولا تنقل الأحمال في الرصف الصلب من طبقة إلى أخرى.

وتتعلق طريقة آشتو بتحديد السماكة الإجمالية لطبقات الرصف وسماكة كل طبقة من طبقاته التي تشمل طبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس وطبقة السطح. وعادة ما يتم التصميم على أساس مستوى مختار من قابلية الخدمة أو الأداء للطريق يعبر عنه بمؤشر قابلية الخدمة. ويمثل مستوى هذا المؤشر مدى التدهور والانهيار الذي يمكن السماح به في الرصف قبل الحاجة إلى إضافة طبقة سطحية أو إعادة إنشاء الرصف من جديد. وهذا المؤشر مبني على درجة نعومة سير المركبة على سطح الطريق مقابل التخدّد والتشقّق وغيرهما من مظاهر عدم انتظام سطح الطريق. وتتراوح قيم المؤشر بين صفر و ١ (سيء جدا) وحتى ٤ إلى ٥ (جيد جدا). وتعد القيمة ٢,٥ (متوسطة)، عادة، مناسبة للطرق الرئيسية، والقيمة ٢,٠ (الحد الأدنى للمدى من ٢ إلى ٣) مناسبة للطرق الثانوية.

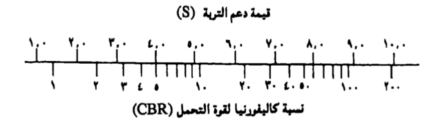
وهناك حاجة لقياس قوة التربة. ومن الملائم تحويل قيم نسبة قوة تحمل كاليفورنيا (CBR) إلى تحمل التربة soil support value (S)، باستعمال رسم بياني يوضح العلاقة بين قيم هذين المقياسين شبيه بذلك الموضح في الشكل (٦,٥). ويحوّل حجم المرور اليومي إلى ما يعادله من أحمال محورية قياسية قدرها ١٨٠٠٠ رطل (٨٢٠٠ كغم) لكل محور فردي كما سنشرح لاحقاً في هذا الفصل. وتشمل المعلومات الأخرى اللازمة للتصميم الرقم الإنشائي (*SN*) والعامل الإقليمي أو المناخي (*R*). ويدل الرقم الإنشائي عديم الأبعاد (*SN*) على قوة الرصف، ويأخذ بعين الاعتبار قوة تحمل التربة وحجم المرور اليومي مقدرا بالأحمال المحورية القياسية ومؤشر قابلية الخدمة والعامل الإقليمي. ويمكن، باستخدام معاملات مناسبة، تحويل الرقم الإنشائي (*SN*) إلى سماكة فعلية لطبقات السطح والأساس وما تحت الأساس.

أما العامل الإقليمي (*R*) فيربط الرقم الإنشائي (*SN*) بالظروف المحلية للطقس والظروف البيئية الأخرى مثل شدة هطول الأمطار وعمق التجمد ودرجات الحرارة، ومستوى سطح المياه الجوفية. ويعتمد اختيار العامل

---

(٤) *AASHTO Interim Guide for Design of Concrete Pavements*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., 1972.

الإقليمي (R) اعتماداً كبيراً على تقدير المهندس المصمم. ويمكن استخدام القيم الإرشادية التالية: من ٢,٠ إلى ١,٠ للمناطق التي يمكن حدوث تجلد فيها حتى عمق ٥ بوصات (١٢,٧سم) أو أكثر، ومن ٣,٠ إلى ١,٥ للمناطق الجافة خلال الصيف والخريف، ومن ٤,٠ إلى ٥,٠ للمناطق الرطبة المعرضة للرطوبة الكثيرة خلال الربيع بسبب ذوبان الجليد.



الشكل (٦,٥). الارتباط بين قيمة دعم التربة (S) ونسبة كاليفورنيا لقوة التحمل (CBR).
(Courtesy of Association of American State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., *Interim Guide for Design of Concrete Pavements*, Figure C.3-1, p. 68, 1972.)

وعلى الصعيد العملي، تستخدم رسوم بيانية متعددة المحاور كالمبينة في الشكل (٦,٦) والشكل (٦,٧) لربط المعلومات المذكورة أعلاه مع بعضها. وباستخدام مسطرة مستقيمة، نبدأ من اليسار برسم خط يصل بين قوة تحمل التربة (S) والأحمال المحورية القياسية التي ستستعمل الطريق يوميا، ونمد الخط على استقامته حتى يقطع محور الرقم الإنشائي المبدئي (SN) في العمود الثالث (بدون أخذ العامل الإقليمي (R) في الاعتبار). ومن هذه النقطة، نرسم خطا جديدا يمر من محور العامل الإقليمي (R) المقرر استخدامه، ونمد الخط ليقطع المحور الخامس في نقطة تحدد الرقم الإنشائي النهائي (SN).

ويساوي الرقم الإنشائي (SN) للرصف مجموع حاصل ضرب سماكة كل طبقة بمعامل يتعلق بقوة نوعها حسب المعادلة التالية:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3$$

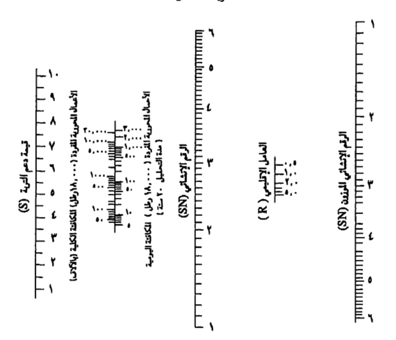
حيث إن:

SN = الرقم الإنشائي

a_1, a_2, a_3 = معاملات القوة النسبية المعطاة لكل من طبقات السطح، والأساس وما تحت الأساس على التوالي

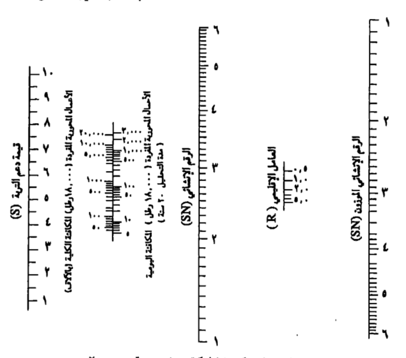
D_1, D_2, D_3 = السماكة بالبوصة لكل من طبقات السطح والأساس وما تحت الأساس، على التوالي

ويمكن اختيار قيم مختلفة لسماكات الطبقات المختلفة، وخصائص المواد المستخدمة فيها التي تحقق هذه المعادلة. ويعتمد الاختيار على توافر المواد والمزايا الاقتصادية النسبية لمختلف السماكات والمواد المستعملة فيها. وقد حددت



الشكل (٦,٦). رسم بياني لتصميم الرصف المرن، طرق كثيفة الحركة بمؤشر خدمة P_t = ٢,٥ .

(Courtesy of Association of American State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., *Interim Guide for Design of Concrete Pavements,* Figure II-1, p. 19, 1972.)



الشكل (٦,٧). رسم بياني لتصميم الرصف المرن، طرق كثيفة الحركة بمؤشر خدمة P_t = ٢,٠ .

(Courtesy of Association of American State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., *Interim Guide for Design of Concrete Pavements,* Figure II-2, p. 20, 1972.)

قيم تصميمية عملية يوصى بالأخذ بها، وهي كما يلي: بوصتان (٥,٠٨سم) لسمك طبقة السطح، و٤ بوصات(١٠,١٦سم) لطبقة الأساس، وأيضا ٤ بوصات (١٠,١٦سم) لطبقة ما تحت الأساس في حال استخدامها. أما القيم المقترحة للمعاملات (*a*) في المعادلة أعلاه، فتتراوح بين ٠,٢٠ و٠,٤٤ لطبقة السطح من الخرسانة الزفتية، و٠,١٤ لطبقة الأساس من الحجر المكسر، وبين ٠,٠٧ و٠,١١ للحصى الرملي، وبين ٠,٠٥ و ٠,١٠ للطين الرملي، وكلاهما يستخدمان في طبقتي الأساس وما تحت الأساس. وقد تختلف القيم الفعلية للمواد المستخدمة عن هذه القيم اختلافاً كبيراً.

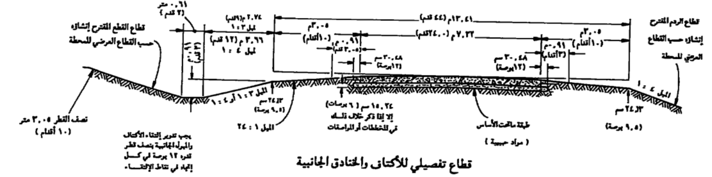
الرصـــف الصلـب
RIGID-SURFACED PAVEMENTS

تشمل الرصفيات الصلبة الشديدة التحمّل الخرسانات الزفتية والخرسانات الإسمنتية. وتتكون الخرسانات الزفتية من حصى جيد التدرج ممزوج بالزيوت الزفتية سواء قبل فردها كطبقات أو أثناءه أو بعده. ويحصل على قوة التحمل من خلال التحكم بنوعية الحصى وعدد طبقات الأساس وسماكاتها. ويمكن صب الخرسانة الإسمنتية مباشرة على سطح القاعدة الترابية الممهدة والمدكوكة جيدا، أو صبها كطبقة سطحية لطبقة أساس واحدة أو أكثر. ويمكن صب الخرسانة الزفتية بالأسلوب نفسه. وأحيانا تستعمل طبقات أساس من الإسمنت مع طبقات سطحية من الخرسانة الزفتية. انظر الشكل (٨,٦أ وب).

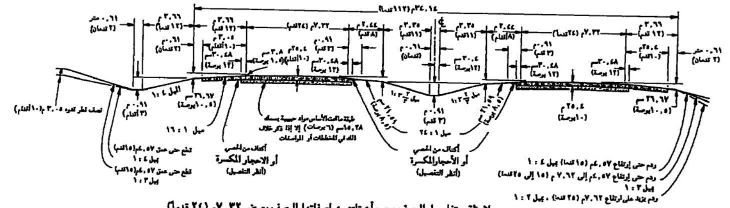
وتتعرض الرصفية الخرسانية الإسمنتية إلى مختلف الإجهادات الناتجة عن طبيعة الخرسانة كمادة. إذ تتميز الخرسانة بقوة انضغاط عالية، ولكنها ضعيفة التحمل لقوى الشدّ، مما يؤدي إلى ضعفها في مقاومة قوى الانحناء. وتتمدد الخرسانة وتنكمش بفعل الرطوبة والجفاف. ولذا تنكمش الخرسانة خلال معالجتها بعد صبها، وتتمدد بارتفاع الحرارة وتنخفض بانخفاضها. وفي العادة، فإن الإجهادات الناشئة عن زيادة درجة الحرارة يقابلها إجهادات معاكسة تنشأ عن أثر جفاف الخرسانة.

الإجهاد الاحتكاكي Abrasive Stress. ينشأ الإجهاد الاحتكاكي عن دوران العجلات على سطح الطريق. وبالرغم من عدم وجود مقياس يوثق به للإجهاد الاحتكاكي، إلا أن الخبرة تشير إلى علاقته بقوة الانضغاط. وعادة ما يتم التصميم على أساس قوة انضغاط قدرها ٤٠٠٠ إلى ٤٥٠٠ رطل/ بوصة مربعة (٢٧,٥٨ إلى ٣١,٠٣ ميغاباسكال) للخرسانة عند عمر ٢٨ يوما، ونسبة المحتوى المائي هي ٦ جالونات ماء لكل كيس من الإسمنت. ولا يعد الإجهاد الاحتكاكي مشكلة اليوم في ظل توافر إطارات مطاطية حديثة.

الانضغاط والقص المباشران Direct Compression and Shear. تنشأ هذه الظروف من أحمال العجلات. فالرصف الخرساني يقاوم الأحمال الانضغاطية المرتفعة نسبيا التي تتراوح بين ٤٠٠٠ و ٨٠٠٠ رطل/ بوصة مربعة (٢٧,٥٨ إلى ٥٥,١٦ ميغاباسكال). وقد حددت حمولة العجلات في بعض الولايات الأمريكية بحد أقصى قدره ٩٠٠٠



الشكل (٦,٨أ). قطاع عرضي نموذجي لطريق مكون من حارتين.



الشكل (٦,٨ب). قطاع عرضي نموذجي لطريق متعدد الحارات ومقسوم.

(Courtesy of Illinois State Highway Department.)

رطل (٠٨٦ , ٤ كغم)، إلا أن عددا قليلا من الولايات الأمريكية تسمح بحمولة قصوى تصل إلى ١١٢٠٠ رطل (٥٠٨٥ كغم). ويستخدم في التصميم، عادة، عامل إضافي للصدمات والاهتزازات بقيمة متوسطة قدرها ٥ , ١، رغم أن المدى يتراوح بين ٢٥ , ١ و ٢. وقلما تنهار بلاطات سطح الطريق الخرساني بسبب القص والانضغاط المباشرين.

إجهادات الانحناء Bending Stresses. تنتج هذه الإجهادات بسبب انحناء الرصف تحت تأثير أحمال العجلات، وهي أكبر أهمية من الإجهادات السابق ذكرها. ويعني لفظ «الرصف الصلب» مقاومة الانحراف أو الانحناء عندما يكون دعم القاعدة الترابية للطريق غير كاف. وفي الواقع، فإن الانحناء والانحراف يحدثان دائما. وفي عام ١٩٢٥م، نشر وسترجارد (Westergaard) نتائج دراساته النظرية التي افترض فيها أن البلاطة الخرسانية تعمل كلوح مرن يلتصق بالقاعدة الترابية للطريق التصاقاً مرناً ومستمراً.[٥] وافترض، أيضا، أن ردود الفعل الرأسية للقاعدة الترابية كانت تتناسب طرديا مع انحناءات بلاطة السطح، وأنها ترتبط بهذه الانحناءات بمعامل رد فعل القاعدة الترابية (K)، الذي يقاس بالأرطال لكل بوصة مربعة لكل بوصة من الإنحناء (لاحظ أن معامل وسترجارد لرد الفعل (K) يختلف عن معامل تالبوت لمرونة السكة الحديدية (u) حيث يقاس المعامل (u) بالأرطال لكل بوصة من السكة لكل بوصة من طول الانحناء، أي مؤشر خطي بدلا من مؤشر المساحة). وبذلك، فإن معامل القاعدة الترابية يعكس كلا من صلابة القاعدة الترابية وصلابة البلاطة الخرسانية.

وقد درس وسترجارد آثار الأحمال الموضوعة في ثلاثة مواقع حرجة فوق بلاطات متساوية السمك، وهذه المواقع هي وسط البلاطة، وأطرافها، وأركانها. ووجد أن أقصى وحدة إجهاد كانت في الأركان أو في الأطراف وليست في وسط البلاطة. وقد وضع وسترجارد علاقة تجريبية لقياس الصلابة النسبية للبلاطة مقارنة بصلابة القاعدة الترابية على النحو التالي:

$$L = \sqrt[4]{Et^3/\left[12\ \left(1-\mu^2\right)\ K\right]}$$

حيث (L) هو نصف قصر الصلابة النسبية بالبوصات، وهو مقياس لصلابة البلاطة مقارنة بصلابة القاعدة الترابية، و (t) هي سمك البلاطة بالبوصات، و (E) هو معامل مرونة الخرسانة بالأرطال للبوصة المربعة، وقيمتها المتحفظة هي ٥ × (١٠)^٦ رطل/ بوصة مربعة، و(μ) هي نسبة بواسون للخرسانة، وتتراوح بين ١ , ٠ و ٢ , ٠ غير أنها عادة ما تأخذ قيمة ١٥ , ٠، و (K) هو معامل ردة فعل القاعدة الترابية بالأرطال للبوصة المربعة لكل بوصة من الانحناء.
ويمكن تحديد معامل ردة فعل القاعدة الترابية عن طريق الاختبار التحميلي للوح دائري قطره ٣٠ بوصة (٢ , ٧٦سم). وتتراوح قيمة (K) بين ٥٠ رطلاً/ بوصة مربعة للأرض الهشة، و٧٠٠ رطل/ بوصة مربعة (٨٣ , ٤ ميغاباسكال) للأرض الصلبة جدا. وقد أوصى كيلي (Kelley) باستخدام قيمة ١٠٠ رطل/ بوصة مربعة (٦٩ , ٠ ميغاباسكال) للاستعمال العام.[٦]

---

(٥) Public Roads, April 1926, and *Proceedings of Highway Research Board*, Part I, 1925.

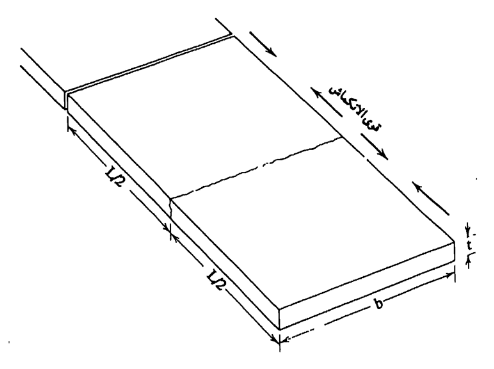
(٦) E.F. Kelley, Application of the Results of Research to the Structural Designof Concrete Pavement, *Public Roads*, July and August 1939.

وطوّرت مصلحة الطرق العامة الأمريكية معادلات وسترجارد واستبد لتها بمعادلات تجريبية ، منها المعادلة النمطية التالية :

$$\sigma = \left(3P/t^3\right) \left[1-\left(a\sqrt{2/L}\right)^{1.2}\right]$$

حيث (σ) هو إجهاد الشد الأقصى بالأرطال لكل بوصة مربعة الناشيء من الحمل (P) المسلّط على ركن البلاطة ، و (P) هو الحمل بالأرطال مشتملا على قوة الاهتزاز والصدم . ، و (t) سمك البلاطة بالبوصات ، و (L) هي نصف قطر الصلابة النسبية بالبوصات ، و (a) هي نصف قطر مساحة الحمل (تشوه العجلة) بالبوصات المربعة . والعلاقة التي تمثلها دراسات وسترجارد للإجهادات في الرصفيات تقابلها علاقات تالبوت للإجهادات في السكة الحديدية .

الإجهادات الانكماشية Contraction Stresses. تنشأ الإجهادات الانكماشية من الانكماش الذي يحدث في عمليات التبريد والتجفيف أثناء تصلب الخرسانة . ويلقى الانكماش الذي يحدث في البلاطة مقاومة احتكاكها التلامسي مع القاعدة الترابية ، مما يتسبب في تشقق البلاطة الخرسانية . وقد عادل قولدبيك (Goldbeck) هذه القوى عن طريق المعادلة $\left[L/2 \times W_s \times b \times f = 12b\,t\,s + S'a\,E_s/E_c\right]$ (الشكل ٩ , ٦) ، حيث (W_s) هو وزن البلاطة بالأرطال للقدم المربع من مساحة البلاطة ، و (S) هو إجهاد الشد المسموح به للخرسانة مقاسة بالأرطال للبوصة المربعة ، وعادة ما يؤخذ



الشكل (٦,٩). مقاومة الحركة لبلاطة خرسانية.

بـ ٣٠ رطلا/ بوصة مربعة، و (f) هو معامل الاحتكاك بين البلاطة والقاعدة الترابية الذي يأخذ قيمة متوسطة قدرها ٢,٠، و (b) هو عرض البلاطة بالأقدام، و (L) هو طول البلاطة بالأقدام، و (E_s) هو معامل مرونة حديد التسليح ويساوي ٣٠ × (١٠)^٦، و (E_c) هو معامل مرونة الخرسانة ويساوي ٥ × (١٠)^٦، والنسبة $\left(\frac{E_s}{E_c}\right)$ = ٦ (تقريبا). كما أن (a) هي مساحة المقطع العرضي لحديد التسليح بالبوصات المربعة، و (S') هو الإجهاد العامل لحديد التسليح ويأخذ قيمة متوسطة قدرها ٢٠,٠٠٠ رطل/ بوصة مربعة. ويوضح استخدام معادلة قولدبيك أن الشقوق تحدث في المتوسط بعد كل ٣٠ قدما (٩,١ متر) من طول الرصف. ويمكن الأخذ بالاعتبار حدوث هذه الشقوق باستخدام وصلات انكماش على مسافات متباعدة تتراوح بين ٢٠ و٣٥ قدما (٦,١ إلى ١٠,٧ مترا). ويسمح بعض المصممين للشقوق بأن تحدث حدوثاً طبيعياً، ويستخدمون بلاطات طولها تقريبا ٣٠ قدما (٩,١ متر) ثم تحشى الشقوق كلما حدثت بمادة زفتية. وعلى كل حال، فهناك من يرى أن وصلات الانكماش ضرورية لمنع الانتفاخ الذي يتسبب فيه إجهاد الضغط المباشر.

الإجهادات الحرارية وإجهادات الشد والانضغاط Thermal, Tensile and Compressive Stresses. تسبب هذه الإجهادات التي تنشأ عن التغير في درجة الحرارة في إحداث تفاوت في طول البلاطة وحركتها الطولية للقاعدة الترابية. ونتيجة لذلك، تحدث الشقوق ما لم توضع وصلات للانكماش والتمدد. وتوضع هذه الوصلات الحرارية عادة على مسافات تتراوح بين ٩٠ و ١٠٠ قدم، أي حوالي ٣ أضعاف مسافات وصلات الانكماش، وتحل محل وصلات الانكماش عند تلك المواقع. وبينما يمكن أن تحدث درجات الحرارة المنخفضة إجهادات شد تساهم في حدوث الشقوق العرضية، فإن درجات الحرارة العالية تساهم، بدورها، في حدوث إجهادات التمدد والانضغاط. لذا يمكن أن تنهار البلاطة الرصفية أو تنتفخ في الأيام الشديدة الحرارة.

ولقد أظهرت الدراسات التي أجريت على بلاطات رصف خرسانية مسلحة ومتصلة أن بين ٥٠٠ و ١,٠٠٠ قدم، فقط، من الأطراف الطولية للبلاطة الطويلة هي التي تتحرك فوق القاعدة الترابية عند تغير درجات الحرارة. ولوحظ، أيضا، أنه لا يوجد أي تغيير أو حركة في وسط البلاطة إذ إن أجزاء البلاطة عند الأطراف تمكنت من إيجاد مقاومة احتكاك مع سطح القاعدة الترابية كافية لحفظ وسط البلاطة في مكانه. وهذا شبيه بالطريقة التي يتم بها المحافظة على قضبان السكك الحديدية المتصلة باللحام في مكانها رغم الإجهادات الحرارية، وذلك بتثبيت القضبان بطبقة حصى الفرش عن طريق العوارض تحت السكة.

والأخطر من التمدد والانكماش الطولي هو الالتواء أو التجعد الذي يحدث حول المحور الطولي عندما تتعرض الأسطح العلوية والسفلية للبلاطة للحرارة والبرودة. فعندما تُسخّن الشمس السطح العلوي للبلاطة تميل أطرافها الخارجية للانحناء إلى الأسفل بسبب الأثر الانكماشي للجزء السفلي الأبرد من البلاطة، وتمدد الجزء العلوي لها في الوقت نفسه. ويحدث العكس ليلا حيث تكون طبقات الأساس وما تحتها أكثر دفئا من السطح العلوي. وتُحدِث الفروقات في درجات الحرارة بسبب تغير فصول السنة الأثر نفسه، حيث تتغير درجة حرارة

الجزء السفلي من البلاطة ببط أكثر من الجزء العلوي . وقد ترتفع الإجهادات الحرارية لتصل إلى ٢٠٠ رطل/ بوصة مربعة (٣٨, ١ ميغاباسكال) . ويتم التعويض عن ذلك بزيادة سماكة أطراف البلاطة لكي يكون تأثرها بإجهادات الحرارة أقل . ويمكن استخدام السماكات التالية للأجزاء الداخلية وأطراف البلاطات لمختلف أنواع الطرق حسب أهميتها: ٩ و ٥, ٧ و ٩ بوصة، و ١٠ و ٥, ٩ و ١٠ بوصة، و ٨ و ٥, ٦ و ٨ بوصة . . . إلخ، كما تساعد الوصلات الطولية في تخفيف الإجهادات الحرارية . وقد وضع وسترجارد معادلات تجريبية لم يعد نشرها في هذا الكتاب، وهي تحدد إجهادات الالتواء الحرارية عند أطراف البلاطات وأجزائها الداخلية .

الأحمال المحورية Axle Loads. لا تقتصر عوامل التصميم على خصائص التربة، فقط، بل تشمل، أيضا، أحمال العجلات وعدد مرات تكرارها . وقد حددت معظم الولايات الأمريكية وكذلك الحكومة الاتحادية أحمال المحاور الفردية بـ ١٨٠٠٠ رطل (٨١٧٢كغم)، وأحمال المحاور الترادفية بـ ٣٢٠٠٠ رطل (١٤٥٢٨ كغم)[٧] . ومن خلال تجارب آشتو، فقد اعتبر أن حمل المحور الفردي يكافئ ٥٧ , ٠ × حمل المحور الترادفي . ويتم تحويل عدد المركبات التي ستستعمل الطريق يوميا، والتي تحدد من المسوحات أو بالتقدير، إلى ما يعادلها من الأحمال المحورية القياسية وذلك للاتجاه الواحد عن طريق ضرب عدد المركبات من كل نوع بما يقابله من معامل التحويل المناسب، وذلك للحصول على عدد المحاور القياسية في اليوم لمسار الطريق المراد تصميمه حسب التالي :

$$W_e = (W_a \times T_e)$$

حيث إن :

W_e = مجموع الأحمال المحورية القياسية المكافئة (١٨٠٠٠ رطل أو ٨١٧٢كغم)

W_a = الحمل الفعلي للمحور

T_e = عامل التحويل إلى محور قياسي (١٨٠٠٠ رطل أو ٨١٧٢كغم) .

وقد أعد عدد من الجداول والرسوم البيانية لقيم (T_e) . ويوضح الجدول (٢ , ٦) عوامل تحويل أحمال المحاور المفردة والمترادفة إلى أحمال محاور قياسية (١٨٠٠٠رطل أو ٨١٧٢كغم)، وذلك بناء على نتائج تجارب آشتو .

التصميم الهندسي Geometric Design. بالطبع، يجب أن يتضمن تصميم الطريق عوامل أخرى بالإضافة لعامل الدعم . فيجب أن يراعي التصميم المواصفات الهندسية للمنحنيات ومسافة الرؤية وقطاع الطريق وجوانب السلامة . وعلى القارئ أن يرجع إلى الفصل السابع عشر حيث يناقش التصميم الهندسي، وإلى الفصل الثامن لمعرفة عوامل تصميم السعة .

---

(٧) في بداية عام ١٩٧٥م، أصدر مجلس النواب الأمريكي تشريعا يسمح بزيادة الأحمال المحورية المفردة إلى ٢٠٠٠٠ رطل (٩٠٨٠كغم) والأحمال المحورية الترادفية إلى ٣٠٠٠٠ رطل (١٣٦٢٠كغم) على الطرق التي تمولها الحكومة الاتحادية . وهذا مجرد سماح، فقط، ولا يعني الإلزام . ويلزم الولايات الأمريكية المختلفة العمل على إدخال تلك الحدود الأعلى في متطلبات الطرق التي تمولها حكومة الولاية .

الجدول (٢ , ٦): معاملات تحويل الأحمال المحورية المفردة والقياسية إلي أحمال محورية قياسية مكافئة قدرها ١٨٠٠٠ رطل(٨١٧٢كغم).(أ)

الأحمال		محور مفرد	محور ترادفي
آلاف الأرطال	كيلوغرام		
٢	٩٠٨	٠,٠٠٠٤	
٦	٢٧٢٤	٠,٠١	
١٠	٤٥٤٠	٠,٠٩	٠,٠١
١٨	٨١٧٢	١,٠٠	٠,٠٨
٢٢	٩٩٨٨	٢,٢١	٠,٢٠
٢٦	١١٨٠٤	٤,٣٤	٠,٣٨
٣٠	١٣٦٢٠	٧,٨٧	٠,٦٧
٣٤	١٥٤٣٦	١٣,٤٦	١,١٠
٣٨	١٧٢٥٢	٢١,٩١	١,٧٠
٤٠	١٨١٦٠	٢٧,٥٣	٢,٠٨

(أ) هذا الجدول مبني على نتائج تجارب آشتو على الطرق ويحصل على الأحمال المحورية القياسية المكافئة، مقاسة بوحدة ١٨٠٠٠ رطل (٨١٧٢كغم)، عن طريق ضرب الأحمال الفعلية بمعامل التحويل المقابل لها.

رصفيات المطارات
AIRPORT PAVEMENTS

ينطبق ما نوقش سابقا على مدارج المطارات وممراتها ولكن مع أخذ بعض العوامل الإضافية الأخرى بالاعتبار. فأحد الفروق الرئيسية هو في عرض المدرج، إذ تتراوح عروض ممرات الهبوط بين ٢٥٠ و ٥٠٠ قدم (٢ , ٧٦ إلى ٤ , ١٥٢ مترا) حسب تصنيف المطار وأحجام الطائرات المستخدمة له. ويتراوح عرض الجزء المرصوف من المدرج عادة بين ٧٥ و ١٥٠ قدما (٩ , ٢٢ و ٧ , ٤٥ مترا). ويتطلب هذا العرض الكبير انحناءات تاجية لسطح الرصف وذلك لتصريف المياه، عكس رصفيات الطرق التي يمكن إمالتها في اتجاه واحد للمساعدة على تصريف المياه.

ويكون الوزن الإجمالي للطائرة وأحمال عجلاتها أكبر بكثير منها في الشاحنات. فالأحمال المحورية للشاحنة هي ١٨٠٠٠ رطل (٨١٧٢كغم)، أو ٩٠٠٠ رطل (٤٠٨٦كغم) لمجموعة العجلات المزدوجة فيها، بينما تبلغ أحمال العجلات للطائرات الكبيرة ١٠٠٠٠٠ رطل أو أكثر. ويتراوح ضغط الهواء في إطارات الشاحنات بين ٦٠ و ٩٠ رطلاً / بوصة مربعة (٤٠٤ , ٠ إلى ٦٢٠ , ٠ ميغاباسكال) ولكنه يصل حتى ٢٠٠ رطل/ بوصة مربعة (٣٨ , ١ ميغاباسكال) للطائرات. أما مدارج الطائرات الصغيرة فهي، بالطبع، تتلقى أوزانا إجمالية وأحمال عجلات أخف بكثير. وباستثناء مدارج المطارات الكبيرة المزدحمة الحركة، فإن جميع المدارج الأخرى تتعرض إلى مقدار من تكرار الأحمال أقل من المقدار الذي تتعرض له عادة الطرق المزدحمة التي لها أحمال العجلات نفسها.

وتختلف أنماط ترتيب العجلات وأحمالها في الطائرات عنها في الشاحنات. فترتيبها في الشاحنات يتبع الأسلوب التقليدي الذي يجعل أحمال العجلات على مسافة تتراوح بين قدمين و أربع أقدام من الحافة الخارجية للرصف. وتعاني الرصفيات المرنة ضعفاً في مقاومة الإجهادات عند حافة الرصف، مما قد يتطلب زيادة سماكتها عند الحواف وتخفيف الإجهادات عندها. بينما يكون ترتيب عجلات الطائرة على شكل ثلاثي عند هبوطها، مع قدرة على توجيه العجلة الأمامية أو مجموعة العجلات الأمامية. وتقع الأحمال على الجزء الأوسط من المدرج، بحيث تقع ٨٠٪ من هذه الأحمال على نحو ٨٪ من مساحة الرصف. لذا تتركز الإجهادات في الثلث الأوسط من رصف المدرج.

وبسبب الأوزان الإجمالية الثقيلة للطائرات التجارية، فإن سماكة الرصف للمدرج تكون عادة أكبر منها في الطرق. ويمكن أن تقل سماكة رصف المدرج تدريجيا بعد الثلث الطولي الأول منه بسبب تركيز الأحمال عليه، إذ إن الأحمال تقل على المدرج بسبب تأثير قوة الرفع أثناء الإقلاع. وعند الهبوط، فإن أحمال الطائرة لا تصل كلها إلى الرصف إلا بعد حصول التلامس الفعلي بين العجلات والرصف.

ولا بد أن تقاوم المدرجات، أيضا، الاهتزازات الناتجة من تسخين المحركات والغازات المنطلقة من المحركات النفاثة، وصدمات الارتطام عند الهبوط. ويمكن للقارئ أن يعود للمراجع المقترحة التي تعطي تفاصيل أكثر عن تصميم المدرجات. كما سنتطرق في الفصل التاسع لأطوال المدارج وذلك عند حديثنا عن المحطات.

التربـــة
SOILS

يتطلب التصميم الحديث للقاعدة الترابية للطرق أن يحدد المهندس قدرة التربة على تحمل الأحمال الملقاة عليها وذلك من أجل المواءمة بين سلامة الطريق وتكاليف إنشائه. وتختلف قدرة التربة لتحمل الأوزان باختلاف أنواعها، ويؤدي عدم تجانس التربة غالبا إلى عدم التأكد من قدرتها على التحمل. ويمكن تحديد قدرة تحمل التربة عن طريق الاختبارات المعملية أو الاختبارات الميدانية الأقل دقة. وعادة ما يفضل استعمال الاختبارات الميدانية للقاعدة الترابية للطرق التي تتم عادة على شكل اختبار للتحميل أو اختبار للاختراق. وقد شرحنا سابقا نسبة قوة تحمل كاليفورنيا (CBR) التي تستعمل عادة مقياساً لقوة القاعدة الترابية في تصميم الطرق.

وتقاس صفات التربة بمؤشرات تشمل حجم الحبيبات وقوة الاحتكاك الداخلي والتماسك وقوة القصّ والجاذبية الشعرية والنفاذية وقابلية الإنضغاط وحدود الميوعة واللدونة ومحتواها المعدني. وتحدد هذه المؤشرات خصائص التربة من حيث قدرة تحملها واستقرارها. وقد جرت محاولات لتصنيف أنواع التربة حسب مؤشرات خصائصها وقدرة تحملها. وتتراوح هذه بين التصنيفات البسيطة نسبيا، على أساس حجم حبيباتها، و التصنيفات الموسعة المعقدة التي تستخدم في تشييد الطرق ومدرجات المطارات. وأحد هذه التصنيفات هو الذي وضعته رابطة آشتو بناء على خصائص التربة ويشمل حجم الحبيبات وتدرجها وحد الميوعة ومؤشر اللدونة (رقم تصنيف آشتو م

١٤٥-٧٣) والمبين في الجدول (٣,٦). ويمكن للفرد إدخال بيانات الاختبار المطلوب في الجدول ثم يبدأ من اليمين إلى اليسار. وأول مجموعة من اليمين تتناسب بياناتها مع بيانات الاختبار هي التصنيف الصحيح.

والمواد داخل المجموعات $(A-1-a)$، و$(A-1-b)$، و$(A-2-4)$، و$(A-2-5)$، و$(A-3)$ هي مواد مناسبة للقاعدة الترابية المدكوكة وذات التصريف الجيد للماء، والتي تعمل كقاعدة لرصفية متوسطة السماكة. وتتراوح المجموعات $(A-2-6)$، و $(A-2-7)$، ومجموعات الطين الغريني من $(A-4)$ إلى $(A-7)$ بين تربة تعادل تقريبا التربة الجيدة $(A-2-4, A-2-5)$ و تربة متوسطة إلى ضعيفة تتطلب إما وضع طبقة ما تحت الأساس، وإما زيادة سماكة قاعدة الأساس.

ويتم إيجاد ما يسمى بمؤشر المجموعة (GI) المستخدم لتصنيف مواد القاعدة الترابية حسب المعادلة:

$$GI = (F-35)[0.2 + 0.005\,(LL-40) + 0.01\,(F-15)\,(PI-10)]$$

حيث (F) هي نسبة المار من منخل رقم ٢٠٠ (٠٧٤, ٠مم)، ويعبر عنها كرقم صحيح، و (LL) هو حد الميوعة، و (PI) هو مؤشر اللدونة. وتعتمد المعادلة على اعتبار حد ميوعة قدره ٤٠ أو أكثر ومؤشر لدونة قدره ١٠ أو أكثر كحدين فاصلين. ويعد مؤشر المجموعة صفرا للتربة غير اللدنة أو عندما لا يمكن تحديد حد الميوعة. ويدل مؤشر المجموعة الذي يكون مساويا لصفر على جودة مواد القاعدة الترابية، ولكن إذا كان المؤشر ٢٠ أو أكثر فإنه يدل على أن نوعية التربة رديئة جدا.

التصميم من أجل قدرة التحمل والاستقرار Design for Bearing Capacity and Stability. تشمل متطلبات إنشاء قاعدة ترابية مستقرة الإجراءات التالية:

١ - إجراء مسح للتربة الطبيعية لتحديد خصائصها ومدى صلاحيتها لعمليات الردم.

٢ - تحديد المواقع المناسبة لإنشاء الطريق وذلك بتجنب الأماكن التي توجد فيها تربة غير صالحة مثل الطين المنتفخ أو الحجر الرخو أوالوحل أوغير ذلك، وتجنب التلال غير المستقرة الجوانب.

٣ - التوفيق بين الملامح الهندسية للقاعدة الترابية للطريق - من حيث العرض والعمق والميول الجانبية - وخصائص التربة التي ستستخدم. ويجب أن يتضمن القطاع العرضي للطريق تصميما مناسبا لتصريف السيول.

٤ - يجب فرش التربة في طبقات رقيقة ودكها دكا جيدا مع الحفاظ على محتوى الرطوبة المناسب والتحكم به للحصول على أقصى درجة من الكثافة الجافة. ويجب فرش التربة الأقل استقرارا في الأماكن التي يكون ضررها فيه أقل ما يمكن - فوق الأكتاف والميول الجانبية أو تحت طبقات مكونة من مواد أكثر استقرارا. ويجب أن تحتوي الطبقات العليا من قاعدة الطريق الترابية على مواد جيدة مختارة تساعد على تصريف المياه وتمنع تسرب الرطوبة والماء إلى أعلى بوساطة الخاصية الشعرية.

٥ - وقاية الميول بزراعة النباتات ذوات الجذور، أو تكسيتها بحجارة متكسّرة، أو أي إجراء آخر من شأنه تثبيت جوانب الطريق ومنع تفتتها.

٦ - القيام بما سبق تحت إشراف شخص متمرس وملم بمبادئ هندسة التربة وتطبيقاتها.

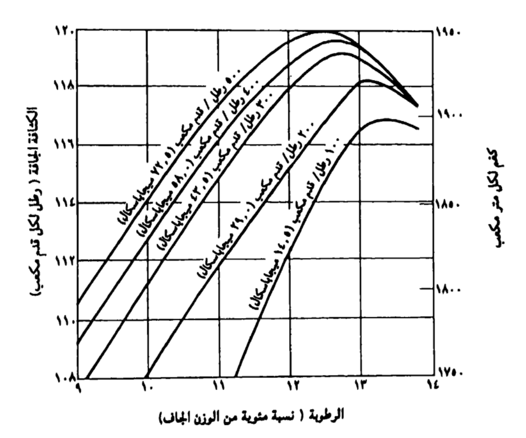
الجدول (٣,٦): تصنيف التربة ومزيج التربة والحصى حسب تصنيف الرابطة الأمريكية للمسؤولين الحكوميين للطرق العامة والنقل (آشتو)[أ]. تصنيف آشتو رقم: م ١٤٥-٧٣.

التصنيف العام	مواد حبيبية (٣٥٪ أو أقل يمر عبر المنخل ٠,٠٧٥ مم)							مواد طينية – غرينية (أكبر من ٣٥٪ تمر عبر المنخل ٠,٠٧٥ مم)			
تصنيف المجموعة	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5[ب]
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
تحليل المناخل، نسبة المارّ ٢,٠ مم (منخل رقم ١٠) ٠,٤٢٥ (منخل رقم ٤٠)	٥٠ كحد أقصى ٣٠ كحد أقصى ١٥ كحد أقصى	– ٥٠ كحد أقصى ٢٥ كحد أقصى	– ٥١ كحد أدنى ١٠ كحد أقصى	– – ٣٥ كحد أقصى	– – ٣٥ كحد أقصى	– – ٣٥ كحد أقصى	– – ٣٥ كحد أقصى	– – ٣٦ كحد أدنى	– – ٣٦ كحد أدنى	– – ٣٦ كحد أدنى	– – ٣٦ كحد أدنى
خصائص المار من منخل رقم ٤٠ (٠,٤٢٥ مم) حد الميوعة	– ٦ كحد أقصى		– بدون	٤٠ أقصى ١٠ أقصى	٤١ أقصى ١٠ أقصى	٤٠ أقصى ١١ أقصى	٤٠ أقصى ١١ أقصى	٤٠ أقصى ١٠ أقصى	٤١ أقصى ١٠ أقصى	٤٠ أقصى ١١ أقصى	٤١ أقصى ٣٦ أقصى
الأنواع المعتادة للمواد المكوّنة المهمّة	كسيرات أحجار، وحصى ورمل		رمل ناعم	حصى ورمل طيني أو غريني				تربة غرينية		تربة طينية	
التقدير العام كقاعدة ترابية للطريق	ممتاز إلى جيد							متوسط إلى ضعيف			

(أ) From Specification for Materials, Table 2, p. 233 (AASHTO) Washington, D.C.

(ب) مؤشرات اللدونة للمجموعة (A-7-5) يساوي حد السيولة أو أقل منها ناقصا ٣٠. ومؤشرات اللدونة للمجموعة الجزئية (A-7-6) هو أكبر من المقدار (حد السيولة ناقصا ٣٠).

تأثير الرطوبة Moisture Effects. من الشروط الأساسية لثبات التربة والقاعدة الترابية للطريق خلوهما من الرطوبة الزائدة. ويمكن أن يعمل تغير نسبة الرطوبة على التحول السريع لحالة التربة من حالة الاستقرار إلى حالة عديمة الاستقرار بدرجة عالية. غير أن إضافة الماء بقدر معين أثناء عملية الدّك يقلل من الشد السطحي بين حبيباتّ التربة مما يساعد على تماسك ذرات التربة في كتل أكثر كثافة واستقرارا، مع زيادة في قوة القص وانخفاض فراغات الرطوبة. ولكن مع إضافة كميات أكبر من الماء سنصل إلى نقطة حرجة يتم فيها تباعد جزيئات التربة عن بعضها بفعل الرطوبة، مما يؤدي إلى نشوء كتل أقل كثافة وأقل استقرارا. وتسمى النقطة التي تصل فيها كثافة الوزن الجاف إلى أقصاها بالنقطة المثلى، ويسمى محتوى الرطوبة عند تلك النقطة بالمحتوى المائي الأمثل. ويمكن الحصول على المحتوى المائي الأمثل والكثافة المثلى من خلال عملية دكّ قياسية في المعمل، ولكن لا بد من تعديلها لتتلاءم مع الظروف الميدانية الفعلية ومع نوع معدات الدّك المستخدمة (انظر الشكل ١٠ ,٦). ويمكن أن ينص عقد التنفيذ على أن يتم الدّك حتى حدود ٩٥٪ من الكثافة المثلى للتربة. ولكن يجب أخذ الاحتياطات اللازمة في أنواع معينة من التربة لها قابلية الإنتفاخ. إذ إن دكّها حتى الكثافة المثلى يجعلها تمتص رطوبة إضافية وتتعرض لتغير حجمها بعد دكّها.



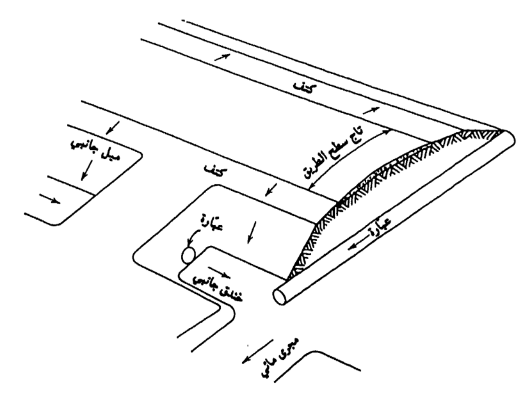
الشكل (١٠ ,٦). تأثير ضغط الدّك على الكثافة الجافة.

وعند دخول كمية إضافية من الرطوبة في كتلة التربة، فإن الجزيئات تفقد خاصية تلامسها مع بعضها وقد يتغير حجمها ومن ثم، تصبح غير مستقرة، لأن قوة القصّ للماء قريبة من الصفر. وتأتي الرطوبة الزائدة من عدة مصادر تشمل المياه السطحية ومياه الأمطار ومياه الثلوج والجليد بعد ذوبانها ومن تحرك الماء إلى أعلى بتأثير الخاصية الشعرية الناتجة عن الضغط المتكرر الذي تقوم به أحمال العجلات المارة فوق الطريق ومن الجريان والتسرب تحت السطحي. وقد تتشكل جيوب رطبة في التربة الناعمة في الأجزاء العليا من القاعدة الترابية، أو طبقة الأساس، أو ما تحت الأساس للطرق أو قطاعات حصى الفرش للسكك الحديدية. وتتجمد هذه الجيوب ويحدث لها زيادة في حجمها (قد تصل إلى ١٠٪) مما يحدث تشوها في سطح الطريق بانتفاخ بعض أجزائه نتيجة التجمد. وعندما تذوب جيوب الماء المتجمدة في المواسم الحارة أو في الربيع فإن ذلك قد يؤدي إلى فاقد كبير جدا في قوة الدعم للتربة وتكسر أسطح الرصف أو تخدّدها أو تشوه في مسار السكة الحديدية من حيث تصميمها الهندسي. وهذا يثبت ضرورة و جود تصريف جيد للمياه.

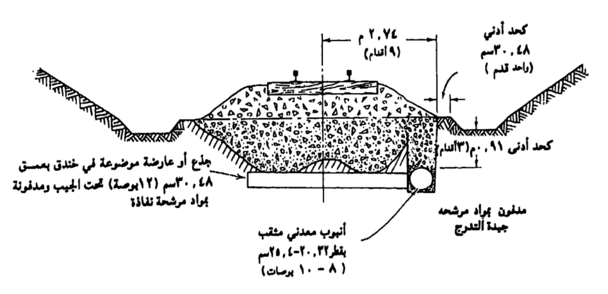
تصريف الميـــاه
DRAINAGE

علاقته بالقاعدة الترابيـة Relation to the Subgrade. يعد تصريف المياه، بدون شك، العامل الوحيد الأهم في استقرار قاعدة الطريق الترابية. ومهمته الأولى هي إبعاد المياه عن قاعدة الطريق. ويشمل ذلك نظام مكون من خنادق جانبية وعبّارات سفلية للمياه. ويتم ذلك بحفر خنادق على طول الطريق بمحاذاة الأكتاف، أو على طول السكة الحديدية بمحاذاة قطاع حصى الفرش، وذلك لتلقي وتصريف المياه المتجمعة من سطح الرصف للطريق أو من السكة الحديدية. وتقوم هذه الخنادق الجانبية باعتراض المياه وجمعها قبل وصولها إلى القاعدة الترابية للطريق. ولا بد من وجود فتحات عبّارات على مسافات بينية مناسبة في القاعدة الترابية لنقل مياه الأمطار ومياه قنوات الصرف إلى الجانب الآخر من الطريق. ويبين الشكل (١١ , ٦) الملامح المختلفة لأنظمة تصريف المياه.

تصميم تصريف الميـاه Drainage Design. يعد تحديد مساحة القطاع العرضي للخندق أو للعبّارة التي توفر السعة الكافية لكمية تدفق المياه المتوقع تصريفها من أهم المسائل التصميمية. ويعبر عن ذلك رياضيا بـ $[Q_c = A \times v = Q_r]$، حيث (Q_c) هي سعة القناة أو الفتحة بالقدم المكعب في الثانية، و(A) هي المساحة العرضية للفتحة أو القناة بالأقدام المربعة، و (v) هو معدل تدفق المياه بالأقدام في الثانية. ومن علم الهيدروليكا، فإن معادلة مانينغ (Manning) تعطي قيمة سرعة التدفق (v) كالتالي: $\left[v = \left(1.486/n\right) R^{2/3} S^{1/2}\right]$ حيث (R) هو نصف القطر الهيدروليكي ويساوي مساحة المقطع مقسوما على المحيط المبلل، و (S) هو الميل بالأقدام لكل قدم، و (n) هو معامل خشونة المجرى المكشوف، ويتراوح بين ٠٢ , ٠ للأرض العادية الممهدة جيدا وللأنبوب المعدني المموّج، و ٠١٦ , ٠ للقنوات المرصوفة بالخرسانة والبلاط الأملس. ويمكن استخدام قيمة متوسطة قدرها ٠٤ , ٠ لمجاري القنوات عند عدم توافر بيانات أخرى،



الشكل (١١,٦أ). تصريف المياه السطحية للطريق.



الشكل (١١,٦ب). تصريف المياه تحت السطحية للطريق.

(Courtesy of Eugene Y. Huang, *Manual of Current Practice for the Design, Construction, and Maintenance of Soil-Aggregate Roads*, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana, June 1959, p. 57, Figure 3.8.)

و٠٦, ٠ للخنادق التي نبت فيها العشب. ويجب ألا تزيد قيمة (v) عن ١٠ أقدام في الثانية بالنسبة للعبارات الأنبوبية لمنع حدوث عمليات الجرف عند المخرج. ويفضل أن لا تزيد قيمة (v) عن ٤ إلى ٦ أقدام/ ثانية. وقد أدت نظريات الجريان الحرج في علم الهيدروليكا إلى استنباط المعادلة [$S = 2.04/D^{1/3}$] حيث (D) هو قطر الأنبوب بالبوصات و (S) هو الميل بالأقدام لكل قدم، ويساوي الميل الحرج الذي يجب إمالة الأنبوب على أساسه للعمل على جريان الماء إلى الأمام بدون حدوث نخر في قاع المجرى المائي المكشوف أو جوانبه، والتي تعرف بحالة الجريان الأقصى.[٨] وبالطبع، يجب أن تكون سعة الأنبوب أو القناة (Q_p) مساوية لتدفق مياه التصريف (Q_r) القادمة من منطقة الصرف. وبافتراض قيمة لـ (A) وتحديد القيم المقابلة لـ (S) و (v)، فإنه يمكن تحديد سعة الأنبوب (Q_p) ومقارنتها بقيمة (Q_r). وإذا لم تكن المقارنة الأولى متفقة القيم، تُختار قيمة ثانية لـ (A) وذلك بناء على مقدار الخطأ الذي حصل في الافتراض الأول.

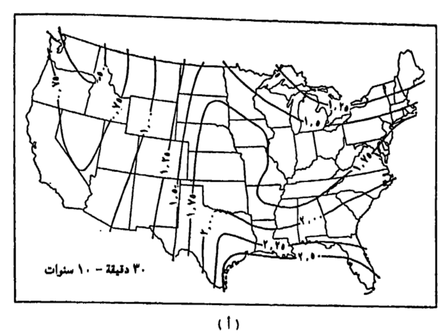
وتعتمد الطريقة المنطقية لتحديد قيمة (Q_r) على المعادلة الهيدرولوجية [$Q_r = A \times I \times R$]، حيث ($Q_r$) هي معدل الصرف بالأقدام المكعبة في الثانية وتساوي فداناً واحداً - بوصة في الساعة، و (A) هي مساحة الأرض التي يجب تصريف مياهها بالفدان، و (I) = كثافة هطول المطر بالبوصات في الساعة لعاصفة مختارة ذات مدة زمنية وتكرارية محددتين (يوضح الشكل ١٢, ٦ العاصفة التصميمية القصوى للولايات المتحدة الأمريكية)، و (R) هو معامل التصريف. ومن الصعب تحديد قيمة (R) بدقة، إذ تعتمد على طبوغرافية الأرض ونوعية النباتات الموجودة ونفاذية التربة وخصائصها الأخرى ومساحات المناطق المرصوفة والمبنية. وتتراوح هذه القيمة بين ١٠, ٠ و ١٥, ٠ بالنسبة للأرض المسطحة أو الأرض المزروعة أو للتلال قليلة الانحدار، وبين ٣, ٠ و ٥, ٠ للقطاعات المبنية، وبين ٨, ٠ و ٩, ٠ للأجزاء المبنية تماما أو المناطق الصخرية أو مناطق الهضاب أو الجبال، وتكون مساوية واحداً (أو أكثر عندما يكون الجليد ذائبا) للأرض المتجمدة. وقد حُدِّثت هذه المعادلة بحيث تأخذ في الحسبان أوقات تركيز هطول المطر عند العبارة، أي وقت التصريف الأقصى للمياه للوصول إلى الفتحة. [$Q_r = AIR/f$] حيث (f) هو معامل للتعويض عن ميل السطح، والذي يؤثر بدوره على مدة التركيز. وبالنسبة للمنحدرات المائلة بنسبة ٥٠, ٠٪ أو أقل، فإن f = ٣، وللمنحدرات التي يكون ميلها بين ٥, ٠٪ و ٠, ١٪ فإن f = ٥, ٢، وللمنحدرات التي يزيد ميلها على ١٪ فإن f = ٢.

ولتحديد العاصفة التصميمية، يمكن أخذ الحد الأدنى لاستمرارية الهطول مساويا لوقت التركيز للمنطقة موضوع الدراسة. ويتأثر اختيار تكرارية الهطول وشدته بدرجة المخاطر على الأشخاص والممتلكات ومدى اقتصادية التصميم الذي تكون مخاطره أقل مقارنة بتكاليف انجراف التربة أو الفيضانات.

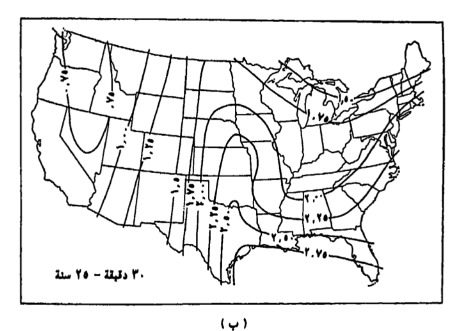
وعندما تتميز منطقة ما بأكثر من منحدر أو خصائص للغطاء يمكن استخدام معامل متوسط للتصريف (R_{ave}):

$$R_{ave} = \frac{R_1A_1 + R_2A_2 + \cdots + R_nA_n}{A_1 + A_2 + \cdots + A_n}$$

(٨) *Handbook of Drainage and Construction Products,* W.H. Spindler, Editor, Armco Drainage and Metal Products, Middletown, Ohio, 1955, p. 215.



(أ)



(ب)

(١ بوصة = ٢,٥٤ سم)

(أ) هطول المطر لمدة ٣٠ دقيقة، بالبوصات، المتوقع لمرة واحدة خلال كل عشر سنوات.
(ب) هطول المطر لمدة ٣٠ دقيقة، بالبوصات، المتوقع لمرة واحدة خلال كل ٢٥ سنة.

الشكل (٦,١٢). شدة هطول الأمطار في الولايات المتحدة (أمثلة نمطية لعمق الأمطار الهاطلة لمدة زمنية مختلفة).

(Courtesy of C.O. Wisler and E.F. Brater, *Hydrology,* 2nd Edition, Wiley, New York, 1959, p. 90, Figures 33 and 34.)

حيث إن :

$R_1, R_2, \cdots R_n$ = معاملات التصريف للمناطق الجزئية

$A_1, A_2, \cdots A_n$ = مساحات المناطق الجزئية بالفدان

المعادلات التجريبيـــة Empirical Formulas . حدّدت معادلات تجريبية بسيطة للمناطق المحلية، وتمت محاولة تطبيقها، عموما، عن طريق استخدام عدد من المعاملات للتعويض عن الاختلافات في طبوغرافية الأرض. وعادة ما تغفل عوامل هطول المطر وأوقات تركيزها. ويجب استخدام هذه الصيغ بحذر وتفهم لحدود تطبيقها. وإحدى هذه الصيغ هي صيغة تالبوت التي وضعها الدكتور تالبوت واستخدمتها إدارات الطرق والسكك الحديدية في المساحات الصغيرة التي تتطلب فتحات يبلغ قطرها ٦٠ بوصة أو أقل (١٥٢,٤ سنتمترا). وهذه الصيغة كالآتي :

$$A = C\sqrt[4]{A_d^3}$$

حيث (A) هي المساحة بالأقدام المربعة للفتحة المطلوبة، و (A_d) هي مساحة منطقة التصريف بالفدان، و (C) هو معامل بقيمة واحد صحيح للأرض الصخرية شديدة الانحدار بميول فجائية، وتبلغ قيمته $\frac{١}{٢}$ للأودية غير المسطحة والطويلة مقارنة بعرضها، و $\frac{١}{٣}$ للأرض الزراعية التي على شكل تلال طول واديها يتراوح بين ثلاثة و أربعة أضعاف عرضه، و $\frac{١}{٥}$ للأرض المسطحة المستوية. وعادة ما يكون قطر الأنبوب المطلوب الذي تحدده هذه المعادلة كبيرا بالنسبة لحجم المياه المتوقعة في الفتحات الصغيرة، وبذلك يساهم في سلامة استعماله. وبما أن الفتحات صغيرة، فإن الحجم الزائد لا يشكل عائقا اقتصاديا كبيرا. وتستخدم طرق أكثر دقة عندما يزيد قطر الفتحة المتوقعة على ٦٠ بوصة.

التصريف تحت السطحي Subdrainage. قد تتطلب التربة التي تترك مبللة لمدة طويلة بسبب جريان الماء تحت السطح أو التسرب أو الترشيح وجود نوع من التصريف تحت السطحي لتخفيض مستوى منسوب المياه ومن ثم، تجفيف التربة. وهذا الأمر مهم، أيضا، للمساحات المسطحة الكبيرة مثل مدرجات الطائرات وساحات السكك الحديدية ومواقف السيارات. ويتكون التصريف السفلي، عادة، من البلاط الذي يوضع بحيث تكون فواصله غير مغلقة، أو من أنبوب معدني مثقب ومموج يوضع في خندق ويردم بمادة مسامية جيدة التدرج (عادة الحصى أو الرمل). وقد يكون مجرى التصريف أنبوباً قصيراً مفتوحاً يوضع عرضيا تحت خط السكة الحديدية أو جسم الطريق ليفرغ الماء عبر ميل قاعدة الطريق الترابية. أو يكون أنبوباً شبيهاً بالأول يصب في أنبوب آخر موضوع وضعا طولياً محاذياً للطريق، وذلك في مناطق الحفر التي يمر بها الطريق. كما قد يكون مجرى التصريف مجرى طوّلياً تصب فيه سلسلة من الأنابيب الصغيرة العرضية وذلك في المناطق المنبسطة والواسعة. ويعتمد نجاح مجرى الصرف على

موقعه بالنسبة لمنسوب سطح الماء أو مصدر الترشيح أو الجريان الجوفي أو عمق الماء كما أن نوع التربة مهم أيضا. فالتربة الطينية الصماء لا تصرف تصريفا جيدا، وفي هذه الحالة، تعد مجاري التصريف تحت السطحية مفيدة لتصريف المياه واعتراض التسرب الجوفي. ويجب استعمال كمية كافية من المواد الناعمة في عملية الردم لمنع الطمي والطين من الدخول وسد المجرى. وتحتوي كتب هندسة التربة على مواصفات تصميم مثل هذه المرشحات.

عناصر جسم السكة الحديدية
THE TRACK STRUCTURE

حصى الفرش للسكة الحديدية Railroad Ballast. يوضع قطاع حصى الفرش المكون من مادة حبيبية كبيرة الجزئيات بين مجموعة القضبان والعوارض والقاعدة الترابية للسكة. والغرض من قطاع حصى الفرش هو: (١) نقل أحمال السكة والقطارات المارة فوقها إلى أساس السكة وتوزيعه توزيعا منتظما على سطحه، و(٢) تثبيت العوارض في مكانها ومنعها من الحركة سواء في الاتجاه الطولي أو العرضي للخط، و(٣) السماح بتصريف المياه ونقلها بعيدا عن العوارض والقضبان، و(٤) التقليل من عملية نمو النباتات في السكة، و(٥) تسهيل عملية صيانة السكة (حفظها عند المنسوب التصميمي لها). وعملياً، فإن قطاع حصى الفرش يعد امتدادا للقاعدة الترابية للسكة. وتستعمل أفضل أنواع المواد المختارة لقطاع حصى الفرش، والتي تشمل كسر الجرانيت أو البازلت أو الصخور البركانية، أو خبث المعادن أو الحصى أو أي مادة كبيرة الجزيئات، وذلك لارتفاع قدرة تحملها. وتتراوح مقاسات حبيباتها بين ١/٢ و ٣ ١/٢ بوصة (٢٧, ١ إلى ٨٩, ٨سم) إلا أن المقاسات من ٣/٤ إلى ١ ١/٢ بوصة (٩١, ١ إلى ٨١, ٣سم) هي الأكثر استعمالا.

ولا يشكل توزيع ضغط الأحمال مشكلة عند استخدام قاعدة صخرية للسكة (مع استمرار الحاجة للعوارض لتثبيت القضبان)، ولكن، في هذه الحالة، يجب أن تكون قدرة تحمل القاعدة عالية، وتتراوح بين ٥ و٣٠ رطلاً/ بوصة مربعة (٠٣٥, ٠ إلى ٢٠٧ ميغاباسكال). وعلى كل حال، فيجب نقل أحمال العجلات وتقليل وحدة ضغوطها حتى تصبح أقل من قوة الدعم الذي توفره قاعدة السكة أو تساويها، وذلك لتحقيق الاستقرار الرأسي للسكة.

وتعطي معادلات تالبوت (Talbot) لتوزيع الضغط السابق ذكرها في بداية هذا الفصل نتائج معقولة الدقة للضغط عند أعماق تتراوح بين ٤ و٣٠ بوصة (٢, ١٠ إلى ٢, ٧٦سم) تحت العوارض. ويمكن الحصول على نتائج أدق باستعمال رسومات نيومارك (Newmark) البيانية. وتتفاوت توزيعات الضغط على طول وجه العارضة حسب بعدها عن نقاط تسليط أحمال العجلات (انظر الشكلين ١٣, ٦ و١٤, ٦).

ومن هذه الرسومات والتجارب المتأخرة، يمكن القول إن التوزيع المنتظم للضغط يحدث على عمق مساو تقريبا للمسافة البينية بين محاور العوارض على طول السكة. ولا يؤثر نوع مادة حصى الفرش على توزيع الضغط إذ يمكن استخدام نوعية من الحصى أقل جودة في النصف السفلي من قطاع حصى الفرش. وتعبر القيم المبينة

في الشكل (٦,١٤) عن النسب المئوية للضغط الرأسي المحسوبة على أساس متوسط الضغط على السطح الحامل للعارضة مقاسا بالرطل/ بوصة مربعة . ويمكن حساب متوسط الضغط هذا (P_a) باستعمال معادلة تالبوت للضغط :

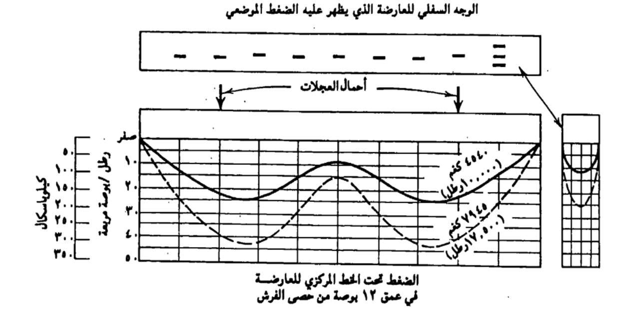
$$P_a = \frac{2P}{\left(\frac{2}{3}\right) b \times L} = \frac{3P}{b \times L}$$

حيث إن :

P = أحمال العجلات على العارضة ، تؤخذ عادة كنسبة ٤٠٪ من الأحمال الفعلية للعجلات

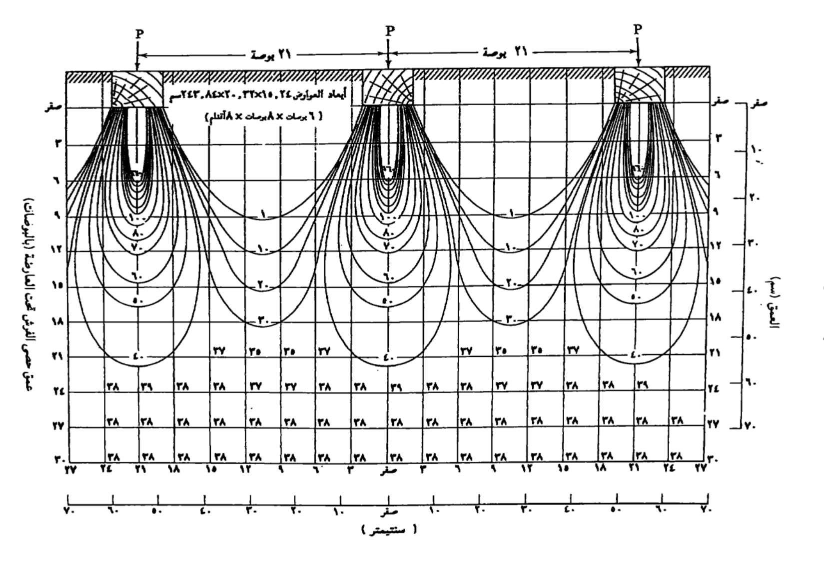
L, b = عرض العارضة وطولها ، على الترتيب ، وتكون عادة ٨×١٠٢ بوصة (٢٠,٣٢×٢٥٩,٠٨ سم)

$\left(\frac{2}{3}\right)$ = مساحة العارضة التي تتعرض للدّك وتوزع الحمل



الشكل (٦,١٣). توزيع الضغط بعرض وجه العارضة.
(A.N. Talbot, "Second Progress Report of Special Committee to Report on Stresses in Railroad Trak," *A.R.E.A. Proceedings*, Vol. 21, American Railway Engineering Association, Chicago, 1920, pp. 645814.)

وينظر إلى تصميم قطاع حصى الفرش على أنه مرتبط جدا بقوة تحمل قاعدة السكة وتصميمها . وعندما تكون قاعدة السكة مؤلفة من مواد حبيبية ناعمة ، فإنه ينصح بوضع غطاء ترشيح جيد التدرج الحبيبي بين قاعدة السكة وقطاع حصى الفرش ، كما في إنشاء الطرق ، مثلا ، وذلك لتقليل الارتفاع الشعري للماء ولمنع تداخل مواد القاعدة وقطاع الحصى وامتزاجها مع بعضها . ويمكن الرجوع إلى كتب هندسة التربة لمزيد من المعلومات عن مواصفات المرشح .



الشكل (٦،١٤). توزيع الضغط الناتج عن ثلاث عوارض (كنسبة مئوية من وحدة الضغط على وجه العارضة.

(A.N. Talbot, "Second Progress Report of Special Committee to Report on Stresses in Railroad Trak," *A.R.E.A. Proceedings*, Vol. 21, 1920, Figure 97, p. 807.)

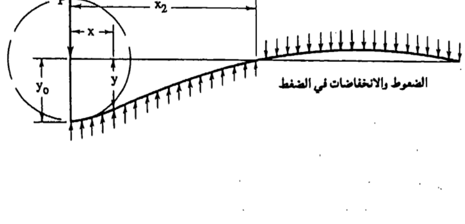
قضبان السكة Railroad Track. تتكون قضبان السكة الحديدية من قضيبين حديديين متوازيين يقومان بنقل أحمال العجلات المشقّهة للعربات والقاطرات وتوجيه حركتها وإرشادها . وتحفظ القضبان على مسافة ثابتة تساوي اتساع السكة بوساطة العوارض الخشبية . ويبلغ اتساع السكة في الولايات المتحدة ٤ أقدام و ٨ ½ بوصات (١,٤٣٥ متر) (تأخذ في البلدان الأخرى المختلفة القيم متراً واحداً، أو ٤٢ بوصة، أو ٥ أقدام، أو ٥ أقدام و ٣ بوصات، أو ٥ أقدام و٦ بوصات) . وتصنع القضبان من فولاذ المجمرة المكشوفة الذي يعرف بفولاذ سيمنس ومارتن، وذلك بأطوال ٣٩ قدما (١١,٨٨ مترا) (والتي تنزلق داخل عربة الشحن التي طولها ٤٠ قدما)، والتي تعرّف بوزنها لكل ياردة طولية ونوع تصميم مقطعها . فمثلا يعني القضيب من النوع (132RE) أنه يزن ١٣٢ رطلاً (٥٩,٩ كغم) لكل ياردة من طول القضيب، وأنه صُمم بناء على مواصفة اتحاد مهندسي السكك الحديدية الأمريكيين والذي اختصاره (AREA) .

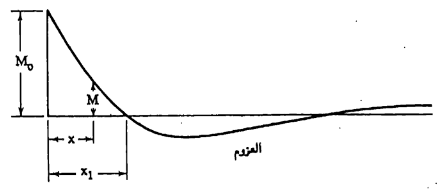
وتتراوح مساحات قطاعات العوارض بين ٧ × ٨ بوصات (١٧,٧٨ × ٢٠,٣٢سم) و ٨ × ٩ بوصات (٢٠,٣٢ × ٢٢,٨٦سم)، وأطوالها بين ٨ و ٩ أقدام (٢,٤٤ إلى ٢,٧٤ متر) (وذلك لسكة اتساعها ٤ أقدام و ٨ ½ بوصات) . إن تآكل العوارض الخشبية وتلفها ينشآن بالدرجة الأولى من انتشار الفطريات التي تتغذى بالأنسجة الخشبية فتخربها . لذا كان من الضروري حقن العوارض الخشبية بمواد معقمة تستطيع منع هذه الفطريات من الانتشار، وأهم هذه المعقمات هو زيت الكريوزوت . كما تتم حماية العوارض بوضع الألواح الحديدية والوسائد المطاطية أو الألياف بين قاعدة القضيب وسطح العارضة . ويتم وصل أطراف القضبان ببعضها بوساطة ألواح من الصلب تثبت بمسامير، أو عن طريق لحام نهايات القضبان مع بعضها لتكون قضباناً طويلة مستمرة وملحومة . وتُثبّت القضبان بالعوارض ووسائد العوارض باستخدام أنواع متعددة من المسامير منها المسامير المدببة، أو مسامير القلاووظ، أو مشابك زمبركية . ويُحدّ من التمدد والإنكماش الحراري للقضبان الملحومة المستمرة بتثبيت القضبان على العوارض عن طريق ضغط المشابك الزمبركية .

ولم تجد العوارض الخرسانية الشائعة الاستعمال في أوروبا استعمالا يذكر في الولايات المتحدة حيث لا تزال طريقة تصميمها وجدواها الاقتصادية مثارا للتساؤلات . ويعتمد استخدامها مستقبلا على درجة توافر العوارض الخشبية وتكلفتها .

وبالإضافة إلى توزيع أحمال العجلات، يجب أن يثبت قطاع حصى الفرش أيضا السكة فوقه . ويعمل تداخل جزيئات حصى الفرش مع بعضها من جهة، وتداخل حصى الفرش مع العوارض من جهة أخرى على مقاومة الحركة الطولية والعرضية للسكة . ويزاد التثبيت عن طريق ملء قطاع حصى الفرش حتى السطح العلوي للعارضة تقريبا، وكذلك بمدّ القطاع مسافة تتراوح بين ٦ و ١٢ بوصة (١٥,٣٤ إلى ٣٠,٤٨سم) على الجانبين الخارجين لنهايات العوارض . وتتراوح مقاومة الحركة للعارضة الموضوعة في قطاع حصى فرش مكون من الأحجار المكسورة بين ٨٠٠ و ١٠٠٠ رطل (٣٦٣,٢ إلى ٤٥٤,٠ كغم) لكل قضيب .

ونظرا لقصر المسافة البينية بين محاور العوارض، والتي يتراوح قدرها بين ١٩ و٢٤ بوصة (٤٨,٢٦ إلى ٦٠,٩٥سم)، فإنه يمكن تحليل القضبان على أساس أنه كمرة مستمرة ومرنة مرتكزة على دعامات مرنة. ويوضح الشكل (٦,١٥) الانحناءات الرأسية الأساسية وعزوم الانحناء للسكة. ويتسبب تركيز أحمال العجلات في نقاط معينة على جسم السكة إلى انحناء القضبان وحركتها للأسفل، مع نشوء قوة رد فعل إلى أعلى، وتنضغط العوارض وحصى الفرش الواقعة تحت نقطة التحميل مباشرة وبجوارها. ويحدث انحناء عكسي إلى أعلى بعيدا عن نقطة التحميل في القضبان مع نشوء مركبات للقوى في القضبان متجهة إلى الأسفل. وبسبب ذلك، فإن العجلات تتحرك دائماً حركة تسلّقية للسكة المائلة بفعل تلك القوى. وتعمل الطاقة المستنفذة في ضغط السكة للأسفل ودفع موجة الانحناء العكسي أمام العجلات على تقليل الطاقة المتوافرة لتسارع القطار وجرّ الحمولة، وذلك بنسبة قليلة.





الشكل (٦,١٥) نظرية الكمرة المستمرة: الانحراف والانحناء.

وبافتراض أن الكمرة المستمرة مرتكزة على دعامات مرنة، وبعامل تناسب ثابت (u)، فإن هبوط السكة والضغوط إلى أعلى الناتجة عن تركيز حمل العجلة (P) تتناسب مع بعضها، أي أن [$P = uy$]. انظر الشكل (٦,١٥). ويحدث أقصى انحناء مباشرة تحت نقطة تركيز الحمل الذي يساوي [$P = uY$]. ويسمى معامل التناسب (u) بمعامل

مرونة السكة ، وهو يعتمد على قوة صلابة القضبان والعوارض وحصى الفرش وقاعدة السكة . ومعامل المرونة هو الحمل الواقع على الوحدة الطولية للقضيب الذي ينتج عنه هبوط يساوي وحدة المسافة . ويجب تحديد قيمة (u) إما عن طريق الاختبارات وإما بفرض قيمتها بالمقارنة أو حسابها عند معرفة العوامل الأخرى التي تحددها . ويبين الجدول (٤ , ٦) القيم النمطية للعامل (u) التي وضعتها اللجنة الخاصة بدراسة الإجهادات في السكة الحديدية . وكلما زادت قيمة (u) زادت صلابة السكة مع نقص يقابله في الانحناء وعزوم الانحناء والإجهادات . وقد قامت اللجنة الخاصة بدراسة الإجهادات في السكك الحديدية بتطوير بعض المعادلات لتحليل الكمرة المستمرة والمرنة المرتكزة على دعامات مرنة ، وتم حلها بالاعتماد على طريقة الحل التي طورها فوبي (Foppi) في الميكانيكا عام ١٩٠٠م .[٩] وفيما يلي تلخيص بعض أجزاء الحل . تتناسب المشتقات الأولى والثانية والثالثة والرابعة للمنحنى المرن لكمرة مستمرة ومرتكزة على دعائم مرنة تناسبا طرديا وعلى الترتيب مع كل من ، (١) ميل المنحنى المرن ، و(٢) عزم الانحناء ، و(٣) قوة القص ، و(٤) شدة تركيز الحمل . ويمكن كتابة معادلة الاتزان التفاضلية كما يلي :

$$E\ I\left(d^4\ y/dx^4\right) = u\ y$$

ويمكن تحقيق هذه المعادلة التفاضلية بالمعادلة التالية :

$$y=\left(-\frac{P}{\sqrt[4]{64EIu^3}}\right)\ e^{-\lambda x}(\cos\lambda x+\sin\lambda x)$$

حيث إن :

$$\lambda=\sqrt[4]{\frac{u}{4EI}}$$

ومن الاشتقاقات السابقة ، يمكن الحصول على قيم خاصة للمتغيرات هي $x_1 = \frac{\pi}{4\sqrt[4]{\frac{4EI}{u}}}$ حيث (x_1) هي المسافة من نقطة تأثير الحمل على القضيب إلى النقطة التي يساوي عندها عزم الانحناء صفرا (أي M = صفر) ، و $\left[M_o = P\sqrt[4]{EI/64u} = 0.318\ Px_1\right]$ حيث هو أقصى عزم انحناء (عند نقطة تأثير حمل العجلة حيث (x) = صفر) و $\left[Y_o = -P/\sqrt[4]{64EIu^2}\right]$ ، حيث (Y_o) هو أقصى انحناء (أيضا ، عند نقطة تأثير حمل العجلة حيث (x) = صفر) ، و $\left[P_o = P\sqrt[4]{u/64EI} = -u\,Y_o\right]$ ، حيث (P_o) هو أقصى شدة للضغط إلى أعلى (عند نقطة تأثير حمل العجلة حيث (x) = صفر) ، وأخيرا $[x_2 = 3x_1]$ ، حيث (x_2) هي المسافة من نقطة تأثير الحمل إلى النقطة التي يساوي عندها الضغط إلى

(٩) Report of the Special Committee for Study of Track Stresses, A.N. Talbot, Chairman, First Progress Report, *Proceedings of the A.R.E.A.*, Vol. 19, 1918.

الجدول (٦,٤): معامل مرونة السكة (U)[أ].

وزن القضبان	أبعاد العوارض	نوع السكة وحصى الفرش	معامل المرونة (U)
٨٥ رطلاً	٧×٩ بوصة ×٨ أقدام و ٦ بوصات بمسافة بينية بين المحاور ٢٢ بوصة	٦ بوصات رماد ناعم كفرش في حالة رديئة على قاعدة من الطفل الرملي	٥٣٠
٨٥ رطلاً	٦×٨ بوصة ×٨ أقدام بمسافة بينية بين المحاور ٢٢ بوصة	٦ بوصات حجر جير على قاعدة من الطفل الرملي والطين جيدة قبل دكها	٩٧٠
١٣٠ رطلاً RE	٧×٩ بوصة ×٨ أقدام و ٦ بوصات بمسافة بينية بين المحاور ٢٢ بوصة	٢٤ بوصة من حصى الفرش مع ٨ بوصات من الحجر الجيري الثقيل على قاعدة مدكوكة جيدا	٢٩٠٠، ٣٠٠٠
١١٠ أرطال RE(ب)	٧×٩ بوصة ×٨ أقدام بمسافة بينية بين المحاور ٢٢ بوصة وتثبيت (GEO)	فرش حصى الصوّان على قاعدة عريضة ومستقرة	٢٥٠٠، ٢٦٠٠، ٣٦٠٠ متوسط ٢٩٠٠
١١٠ أرطال RE(ب)	٧×٩ بوصة ×٨ أقدام بمسافة بينية بين المحاور ٢٢ بوصة وتثبيت (GEO)	فرش حجر جيري على قاعدة عريضة ومستقرة	٣٧٠٠، ٥٥٠٠، ٦٢٠٠ متوسط ٥١٠٠
قاعدة خرسانية			٦٠٠٠، ٧٠٠٠

(١ بوصة = ٢,٥٤سم)

(أ) First and Sixth Progress Reports of the Special Committee on Stresses in Railroad Track, Proceedings of the American Railway Engineering Association, Vol. 19, 1918, and Vol. 35, 1934, A.R.E.A., Chicago, Illinois.

(ب) يدل الرمز (RE) على أن القضيب مصمم حسب مواصفات (AREA) أي اتحاد مهندسي السكك الحديدية الأمريكيين.

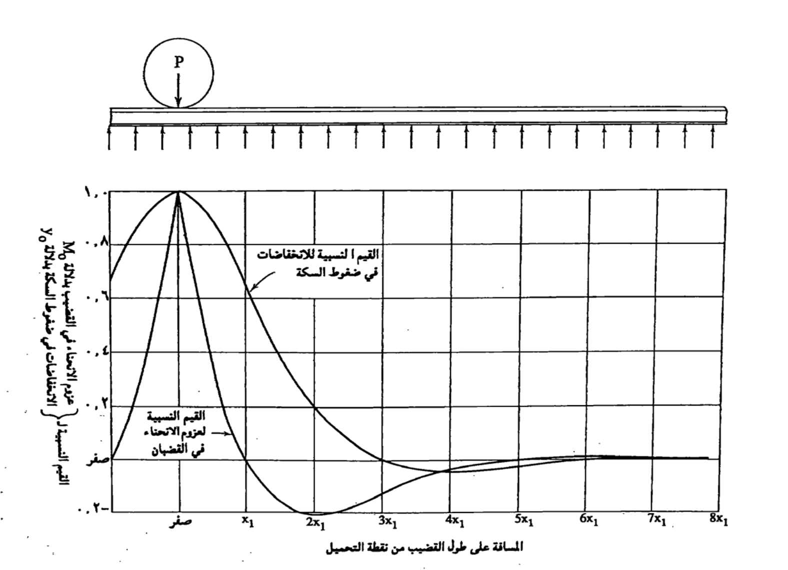
أعلى صفرا ($p = o$) . و (E) هو معامل مرونة الحديد ويساوي ٠٠٠ , ٠٠٠ , ٣٠ رطل/ بوصة مربعة ، و (I) عزم القصور الذاتي لقطاع القضيب .

وقد طور الدكتور تالبوت مع لجنته المذكورة أداة مفيدة لتحديد آثار حمل العجلة باستخدام المنحنى النسبي (انظر الشكل ١٦ , ٦) . ويمكن من هذا المنحنى تحديد قيم المتغيرات (x) ، و(y) ، و(M) عند أي مسافة من نقطة تأثير العجلة ، وذلك كنسبة من القيمة القصوى . ويوضح المنحنى بجلاء كيف تتوزع تأثيرات حمل عجلة واحدة على عديد من العوارض سواء التي أمام العجلة أو التي خلفها (وكتبسيط للحساب ، يمكن افتراض أن حمل العجلة يتوزع بالتساوي على ثلاث عوارض ، العارضة الواقع عليها الحمل والأخريان المجاورتان) . ويحدد التأثير المشترك لعجلتين متجاورتين أو أكثر عن طريق الجمع الجبري للعزوم والانحناءات لكل عجلة عند أي نقطة مشتركة (x) .

وتساعد صلابة القضبان على تحقيق صلابة جسم السكة ككل . وبناء على خصائص الكمرات الحديدية ، فإن وزن القضيب يتغير مع مساحة قطاعه . كما أن الصلابة تتغير مع المساحة ، أيضا ، وبالتالي ، فإنها تتغير مع مربع الوزن . وكذلك ، بناء على خصائص الكمرة ، فإن الصلابة تتغير مع مكعب ارتفاع المقطع . وأدى هذا إلى تطوير قضبان عالية ارتفاع القطاع من أجل الحصول على أقصى صلابة بأقل كمية حديد ممكنة . وتقاس الصلابة بمعامل القطاع المعروف (I/C) حيث إن (I) هو عزم القصور الذاتي للقطاع ، و (C) هي المسافة من أقصى نقطة في القطاع (عند قاعدة القضيب) إلى محوره المتعادل . وكلما زادت قيمة المعامل (I/C) زادت صلابة القضيب وقوته . ويعطي الجدول (٥ , ٦) مقاسات معظم أنواع القضبان المستعملة وخصائصها .

وكخطوة أولية في تصميم القضبان ، يجب تحديد الإجهاد المسموح به للقضبان الحديدية (S) مقاسا بالأرطال لكل بوصة مربعة حسب معادلة الكمرة [$S = M/(I/C)$] ، حيث (M) هو عزم الانحناء بالرطل - بوصة ، و (C) بالبوصة . ويُحسب شكل عزم الانحناء لحمل العجلة المتوقع بناء على تصميم معين للقضبان ، وتحدد قيمة الإجهاد وتقارن مع قيمته المسموح بها . ويعتمد الإجهاد المسموح به على نقطة الخضوع لقضبان الحديد ، ويؤخذ عادة بـ ٧٠٠٠٠ رطل/ بوصة مربعة (٥٨ , ٤٨٢ ميغاباسكال) . وعموما ، يخفض هذا الإجهاد الأولي المسموح به حتى ٣٢٠٠٠ إلى ٣٥٠٠٠ رطل/ بوصة مربعة (٦١ , ٢٢٠ إلى ٢٩ , ٢٥١ ميغاباسكال) وذلك مقابل السماح بالانحناء العرضي والعوامل الخارجية الأخرى مثل الإجهادات الحرارية في القضبان والتعلية الجانبية غير المتزنة وتدهور حالة القضبان (خصوصا في المنحنيات) والاختلافات الناتجة عن منحنى تحميل العجلة . يلي ذلك اعتبار أحمال العجلات المتوقعة وتصميم القضيب وصلابة العوارض وحصى الفرش لأقصى إجهاد عامل مسموح به . أما الاختيار النهائي للقضبان وحصى الفرش فهو في الواقع عملية اقتصادية . وعلى سبيل المثال ، يمكن أن يكون أي من الأوزان المختلفة للقضبان مناسبا لدعم الحمل ، ولكن ، تحت ظروف الحركة الكثيفة والثقيلة ، فإن قطاع القضبان الأثقل ذا الانحناء الأقل عادة ما يتطلب صيانة أقل للسكة ويعطي عمرا أطول للقضبان والعوارض .

إجهادات القصّ Shearing Stresses. تستطيع قطاعات القضبان المستخدمة في الخطوط الحديدية الرئيسية حاليا ، عند اختيارها بدقة ، تحمّل عزوم الانحناء المنبثقة من أحمال العجلات المعتادة ، بالرغم من وجود توجه مستمر لاستعمال أحمال أثقل للعجلات ، والتي يمكن أن تفرض متطلبات أكثر دقة في قطاعات القضبان .



الشكل (٦,١٦). رسم بياني عام لتحليل السكة.
(A.N. Talbot, "Report of The Special Committee for The Study of Stresses in Railroad Trak First Progress Report," *A.R.E.A. Proceedings*, Vol. 19, 1918, Figure 5, p. 886.)

الجدول (٦,٥): خصائص قطاعات القضبان النمطية.

رمز تصميم القطاع	الوزن لكل ياردة (رطل)	عزم القصور الذاتي	مسافة قاعدة القضيب إلى المحور المتعادل (بوصة)	معامل القطاع (للقاعدة)	المساحة (بوصة مربعة)	الارتفاع (بوصة)	عرض القاعدة (بوصة)	عرض التاج (بوصة)
RE ١٣٣(أ)	١٣٣,٤	٨٦,٠	٣,٢٠	٢٧,٠	١٣,٠٨	٧ ١/١٦	٦	٣
RE ١٣٢	١٣٢,١	٨٨,٢	٣,٢٠	٢٧,٦	١٢,٩٥	٧ ١/٨	٦	٣
RE ١٣١	١٣١,٢	٨٩,٠	٣,٢٠	٢٧,٠	١٢,٩٠	٧ ١/٨	٦	٣
RE ١٣٠	١٣٠,٠					٦ ٣/٤	٦	٢ ١٥/١٦
RE ١٢٠(ب)	١٢٠,٩	٦٧,٦	٢,٩٢	٢٣,١	١١,٨٥	٦ ١/٢	٥ ٣/٤	٢ ٧/٨
RE ١١٥	١١٤,٧	٦٥,٦	٢,٩٨	٢٢,٠	١١,٢٥	٦ ٥/٨	٥ ١/٢	٢ ٢٣/٣٢
RE ١١٢	١١٢,٣	٦٥,٥	٣,٠٠	٢١,٨	١١,٠١	٦ ٥/٨	٥ ١/٢	٢ ٢٣/٣٢
RE ١١٠(ب)	١١٠,٤	٥٧,٠	٢,٨٣	٢٠,١	١٠,٨٢	٦ ١/٤	٥ ١/٢	٢ ٢٥/٣٢
RE ١٠٠	١٠١,٥	٤٩,٠	٢,٧٥	١٧,٨	٩,٩٥	٦	٥ ٣/٨	٢ ١١/١٦
RA-A ٩٠(ج)	٩٠,٠	٣٨,٧	٢,٥٤	١٥,٢٣	٨,٨٢	٥ ٥/٨	٥ ١/٨	٢ ٩/١٦

تابع الجدول (٦,٥): خصائص قطاعات القضبان النمطية.

رمز تصميم القطاع	الوزن لكل ياردة (رطل)	عزم القصور الذاتي	مسافة قاعدة القضيب إلى المحور المتعادل (بوصة)	معامل القطاع (للقاعدة)	المساحة (بوصة مربعة)	الإرتفاع (بوصة)	عرض القاعدة (بوصة)	عرض التاج (بوصة)
AS ٧٥ (و)	٧٥,٢	٢٣,٠	٢,٣٦	١٠,٠	٧,٣٨	٤ ١٣/١٦	٤ ١٣/١٦	٢ ١٥/٣٢
CF & I ١٠٦	١٠٦,٦	٥٣,٦	٢,٨٥	١٨,٨	١٠,٤٥	٦ ٣/١٦	٥ ١/٢	٢ ٢١/٣٢
CF & I ١١٩ (د)	١١٨,٨	٧١,٤	٣,١٢	٢٢,٩	١١,٦٥	٤ ١٣/١٦	٥ ١/٢	٢ ٢١/٣٢
CF & I ١٣٦	١٣٦,٢	٩٤,٩	٣,٣٥	٢٨,٣	١٣,٣٥	٧ ٥/١٦	٦	٢ ١٥/١٦
PS ١٥٥ (هـ)	١٥٥,٠	١٢٩,٠	٣,٣٨	٣٦,٧	١٥,٢٠	٨	٦ ٣/١٤	٣
PS ١٥٢	١٥٢,٠	١٣٠,٠	٣,٥٠	٣٧,٠	١٤,٩٠	٨	٦ ٣/١٤	٣
PS ١٤٠	١٤٠,٦	٩٧,٠	٣,٣٧	٢٩,٠	١٣,٨٠	٧ ٥/١٦	٦	٣

(أ) تعني RE تصميم اتحاد مهندسي السكك الحديدية الأمريكيين (اختصارها AREA).
(ب) لم تعد تصنع حاليا حيث توقف إنتاجها.
(جـ) تعني RA تصميم اتحاد السكك الحديدية الأمريكي (اختصارها AAR).
(د) تعني CF & I تصميم شركة كولورادو للحديد الفولاذي والوقود.
(هـ) تعني PS تصميم سكة حديد بنسلفانيا.
(و) تعني AS تصميم الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين.

وتوجد إجهادات القص مشكلة مختلفة، وهي تتعلق بنوعية القضبان المستخدمة وصلابتها . وتنجم هذه المشكلة عن إجهادات التلامس التي تنشأ تحت نقطة تلامس العجلات بالقضبان مباشرة . وتتسبب هذه الإجهادات في ظهور عديد من أنواع العيوب المختلفة في تاج القضيب، مثل تشقق التاج أو تصدعه وتقشره وتشظّيه وتموّجه وتساقطه قطعا رقيقة . وقد كانت العيوب التي تنشأ في نهايات القضيب (بفعل الأحمال المتكررة والصدمات) غالبا ما تحد من عمر القضيب، أما في القضبان الملحومة والمستمرة، حيث يتم تقليل الوصلات بين القضبان أو حتى إلغاؤها، فإن تآكل تاج القضيب وتساقطه قطعا رقيقة (Shelling) يمكن أن يحد من عمر القضيب. وهذا التآكل تشققات أو انفصالات أفقية نوعا ما تحدث في أي مكان على عمق يتراوح بين $\frac{٣}{٨}$ و $\frac{٥}{٨}$ بوصة (٠,٩٥ و ١,٥٩ سم) تحت الحافة الخارجية لتاج القضيب. وتنمو هذه التشققات (Shells) بفعل الأحمال المتكررة وقد تصل إلى كسر القضيب. ولا تشكل هذه التشققات مشكلة خطرة بحد ذاتها، ولكن خطورتها تتمثل بقدرتها على إيجاد مركبات عرضية سفلية تؤدي إلى حدوث كسر كامل، وهو عيب لا يمكن الإحساس به أو ملاحظته بالنظر قبل انهيار القضيب، وبالتالي، فهو خطر جدا. وكما ذكرنا، فإن هذه التشققات تنمو وتتكون بفعل الأحمال المرورية عليها. ويبدأ بعضها في الظهور بسبب العيوب المصنعية المعروفة للقضيب مثل النفاذية، ولكن مصدر ظهور معظم تلك التشققات غير معروف بعد. ومن الأسباب المحتملة لنمو التشققات هو تركيز الإجهادات المتبقية في سطح السكة.[١٠] وتعمل الأحمال الثقيلة المتكررة على نمو هذه التشققات والعيوب الأخرى حتى تصل إلى حالة الانهيار.

وتُحسب إجهادات التلامس باستخدام معادلة هيرتز (Hertz) التي وضعها أصلا لدراسة تدحرج أسطوانتين متلامستين تمثلان هنا العجلة والسطح المقوس لتاج القضيب. وتنص المعادلة على:

$$\tau = \frac{23,500\ P^{1/3}}{\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^{0.271} \times (R_2)^{2/3}}$$

حيث إن:

τ = إجهاد التلامس بالرطل/ بوصة مربعة؛ ويجب أن لا تزيد على ٥٠,٠٠٠ رطل/ بوصة مربعة.

P = حمل العجلة بالرطل؛ ويجب زيادتها بمعامل يأخذ في الاعتبار التأثيرات الديناميكية للأحمال المتحركة، وذلك بواقع ١٪ لكل ميل في الساعة فوق سرعة ٥ أميال/ ساعة.

R_1 = نصف قطر الأسطوانة الأكبر (عادة العجلة) بالبوصة

R_2 = نصف قطر الأسطوانة الأصغر (القضيب) بالبوصة

وتميل العجلات إلى التآكل الفراغي في أجزائها الملامسة للقضبان بنصف قطر ثابت للتآكل قدره ١٧ بوصة (٤٣,١٨ سم). وتتآكل القضبان بنصف قطر ثابت لتاج القضيب قدره ١١,٥ بوصة (٢١,١٩ سم). ولأخذ تآكل العجلة الفراغي بالحسبان، يوسع عرض تاج القضيب في الواقع لملء هذا الفراغ باستخدام العلاقة:

(١٠) G.C. Martin, *The Influence of Wheel-Rail Contact Forces on the Formation of Rail Shells*, Ph.D. Thesis, University of Illinois, Champaign - Urbana, Illinois, 1971.

$$R_1 = R' = \frac{R_h \times R_r}{R_h - R_r}$$

حيث إن :

R_h = نصف قطر التآكل الفراغي للعجلة المتآكلة

R_r = نصف قطر تاج القضيب المتآكل

وبتطبيق هذه المعادلة، تكون (R') ٥ , ٣٥ بوصة (١٧ , ٩٠سم)، وتصبح (R_2) ١٨ بوصة (٧٢ , ٤٥سم) لعجلة قطر شفتها ٣٦ بوصة (٤٤ , ٩١سم). (١١)

وتفترض نظرية هيرتز أن المواد متجانسة ومتساوية الخصائص في جميع الجهات، ولا تأخذ في الاعتبار القوى المتعامدة (العرضية والرأسية) ولا الحمل المركز على الحواف الخارجية لسطح السكة. ولذا، فإن هذا الحل يعد تقريبيا للقضبان التي تسير عليها العجلات دون تكوّن حرارة، والتي تتعرض لأحمال عجلات عرضية وطولية، وأيضا، رأسية مزاحة، عادة نحو الحافة الخارجية للقضيب. وتؤخذ قيمة (τ)المسموح بها، عادة، بـ ٥٠٠٠٠ رطل/ بوصة مربعة (٣٤٤٧٠٠ميغاباسكال)، ويتم تخطي هذه القيمة أحيانا عندما تزيد أحمال العجلات على ٨١٠ رطل (٣٦٨كغم) لكل بوصة من القطر الاسمي للعجلة للعجلات التي قطر شفتها ٣٦ بوصة (٤٤ , ٩١سم).

التصميم الهندسي الجيد Geometric Excellence. تتطلب السلامة والراحة في الركوب أن تبقى المحاذاة الفعلية للسكة واتساع السكة وسطحها في وضعها الصحيح. وينتج عن عدم انتظام هذه العوامل واختلافها صدمات ارتدادية وتمايل واهتزازات تتسبب في عدم راحة الركاب، وحدوث عطب في الحمولة والمعدات، وحتى خروج القطار عن السكة. ويؤدي عدم الانتظام في أي من هذه العوامل الثلاثة، عادة، إلى عدم انتظام العوامل الأخرى. وأهم هذه العوامل الثلاثة هو السطح. إذ يجب المحافظة على منسوب سطح السكة بين القضبان بدقة، عن طريق التصميم والتنفيذ الجيد ومن ثم عمليات الصيانة الدورية المناسبة لسطح السكة. ويعدّ دك مواد حصى الفرش أو رصّها تحت العوارض أهم عمليات الصيانة للسطح. وفي الوقت الحاضر، فإن ذلك كثيرا ما يتم باستخدام معدة دكّ ميكانيكية الحركة.

وقد نشر مكتب السلامة التابع لإدارة السكك الحديدية الاتحادية الأمريكية المواصفات الخاصة بسلامة السكك الحديدية في عام ١٩٧٢م، حيث قسمت السكك إلى عدة درجات، وإذا فشلت قطاعات من السكة في اجتياز متطلبات الدرجة المزمع تشغيلها على أساسها فإنه يعاد تصنيفها إلى درجة أقل تتماشى مع متطلباتها. ولا يسمح بالتشغيل على السكك التي لا تتماشى مع متطلبات الدرجة الأولى. كما تحدد تلك الشروط والمواصفات، أيضا، ظروف التصريف والمزروعات وحصى الفرش والاستقرار للسكة. وتصبح الشروط مفصلة ودقيقة بالنسبة لهندسة السكة—من حيث اتساعها ومنسوب سطح قطاعها العرضي وتعليتها الجانبية ومحاذاتها وقطاعها الطولي. كما

---

(١١) H.R. Thomas, *Proceedings of the American Railway Engineering Association*, Vol. 39, 1938, pp. 835-840.

وضعت شروط للحد الأدنى من المتطلبات من حيث استخدام العوارض ونوعيتها والمسامير الكبيرة ووسائد العوارض ومثبتات القضبان وسكك التحويلات والقضبان أنفسها . ويجب أن تعكس القياسات المأخوذة فعليا حالة السكة المحملّة . كما تشمل الشروط متطلبات الفحص والتفتيش وغرامات المخالفات .

درجة السكة	سرعة التشغيل القصوي المسموح بها لقطارات البضائع	سرعة التشغيل القصوي المسموح بها لقطارات الركاب
سكة درجة ١	١٠ أميال / ساعة (٩٠, ١٦ كم/ ساعة)	١٥ ميلاً / ساعة (١٤, ٢٤ كم/ ساعة)
سكة درجة ٢	٢٥ ميلاً / ساعة (٢٣, ٤٠ كم/ ساعة)	٣٠ ميلاً / ساعة (٢٧, ٤٨ كم/ ساعة)
سكة درجة ٣	٤٠ ميلاً/ ساعة (٣٦, ٦٤ كم/ ساعة)	٦٠ ميلاً / ساعة (٥٤, ٩٦ كم/ ساعة)
سكة درجة ٤	٦٠ ميلاً/ ساعة (٥٤, ٩٦ كم/ ساعة)	٨٠ ميلاً/ ساعة (٧٢, ١٢٨ كم/ ساعة)
سكة درجة ٥	٨٠ ميلاً / ساعة (٧٢, ١٢٨ كم/ ساعة)	٩٠ ميلاً / ساعة (٨١, ١٤٤ كم/ ساعة)
سكة درجة ٦	١١٠ أميال/ ساعة (٩٩, ١٧٦ كم/ ساعة)	١١٠ أميال/ ساعة (٩٩, ١٧٦ كم/ ساعة)

ويجب عدم الخلط بين الحد الأدنى لمواصفات السلامة وبين القيم العملية الموصى بها للمنشئات الجديدة، مثل تلك التي أوصي بها اتحاد هندسة السكك الحديدية الأمريكي، كما أن مواصفات السلامة لا تدل بالضرورة على ممارسات الصيانة الاقتصادية المثلى .

ومن الأسباب الأخرى للمحافظة على نوعيات جيدة من التصميم الهندسي للسكك الاستخدام الواسع للقطارات المفردة التي تتمتع بتركيب منتظم، وعربات بكرات حاملة محدودة حرية الحركة الجانبية . وتستجيب كل عربة في القطار المفرد لأي عدم انتظام في السكة بالطريقة نفسها التي تستجيب بها العربة السابقة لها، كما تعطي صدمات متكررة للأحمال . وقد يكون هذا هو المصدر المسبب لعديد من التشققات والتموجات في القضبان .

وعند التأخر في إجراء عمليات الصيانة المناسبة للسكة، فإنها غالبا ما تنحرف عن وضعها الصحيح من حيث المحاذاة والسطح والاستقرار . إذ تتآكل العوارض وتنقطع ألواحها وتنفصل مما يفقدها قدرتها على تثبيت المسامير الكبيرة والقضبان . وتتعرض نهايات القضبان للتآكل والتدهور الزائد، وتزيد من احتمال حدوث التشققات الطولية والتموجات وأنواع العيوب الأخرى . ويجب تخفيض السرعات تبعا للشروط والمواصفات السابقة لإدارة السكك الحديدية الاتحادية حتى تصّحح تلك الأوضاع .

وفي السنوات الأخيرة، كان الجهد الأساسي لصيانة بعض السكك الحديدية ينصب في إعادة تأهيل السكك المتدهورة بسبب التأخر في صيانتها عن وقتها . وفي أحيان أخرى، يتم تحسين السكة والرفع من مستواها للسماح بسرعات أعلى، أو أحمال عجلات أثقل، أو حركة مرور أعلى حجما . كما يُعمل على استقرار قاعدة السكة

بإزالة حصى الفرش واستبداله بحصى فرش جديد أو تنظيف حصى الفرش القديم وإعادته إلى السكة مرة أخرى، وتجديد العوارض والقضبان مع تلحيم القضبان للحصول على أطوال ١٤٤٠ قدما أو أكثر من وصلات القضبان الملحومة، كما يتم، أيضا، صيانة سطح السكة وتسويته. وقد طورت آلات جبارة وغالية الثمن للقيام بأداء عديد من عمليات الصيانة المذكورة. وبالإضافة إلى قيام عمليات الصيانة هذه بتلبية متطلبات حالات الطوارئ المتنوعة التي تظهر في عمليات التشغيل العادية، فإنها، في الوقت نفسه، تشكل تحديا كبيرا لأولئك العاملين في هندسة السكك الحديدية.

خطوط الأنابيب Pipelines. لا تمثل مشكلات الاستقرار والدعم في خطوط الأنابيب أهمية تذكر بالمقارنة مع أنواع النقل الأخرى. حيث توفر الأرض الطبيعية الدعم الكافي داخل الخندق، وتعمل صلابة الأنبوب على حمله لعدة أقدام فوق المناطق الرخوة. ولكن، يجب الأخذ بالاعتبار حالة التربة في طرق خدمة خط الأنابيب التي تُنْشأ عادة لتوصيل المعدات والمواد على طول الخط.

وتهدف الاستطلاعات والمسوحات الموقعية لتجنب الأرض الصعبة. وخاصية التربة المهمة والفريدة بالنسبة لخطوط الأنابيب هي محتواها من المواد المسببة للصدأ. إذ تعمل المياه الجوفية وكيميائيات التربة على صدأ الأنبوب، مما يتطلب تغطيته المكلفة بغطاء ضد الصدأ وأجهزة كاثودية لمنع التحلل الكهربائي. وعلى سبيل المثال، يمكن أن يتحد الماء مع الكبريت ليتكون حامض الكبريتيك. ويجب عدم الاقتصار على تجنب أنواع التربة الطبيعية المسببة للصدأ، فقط، بل يجب تجنب التربة التي يمكن أن تصبح مصدئة بفعل تسرّب المخلفات الصناعية التي تحتوي أحيانا على مواد مسببة للصدأ، وذلك قدر الإمكان.

ويجب توفير غطاء يتراوح عمقه بين ٤ و ٥ أقدام (١,٢٢ إلى ١,٥٢ متر) كحد أدنى للأنابيب تحت المستنقعات والجداول المائية الصغيرة، وبين ١٠ و ١٢ قدما (٣,٠٤ إلى ٣,٦ متر) كحد أدنى للأنابيب تحت الأنهار والجداول المائية الكبيرة. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يحتاج الأنبوب إلى تثقيله بغلاف من الخرسانة للمساعدة في مقاومة قوى جريان الماء والنخر المتولد عنه.

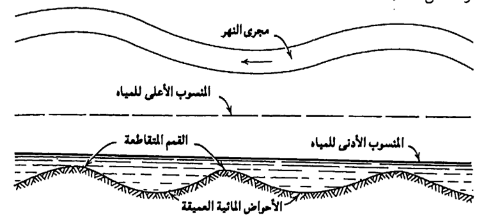
وتكون هناك حاجة ملحة لدك الردم الترابي فوق الأنبوب جيدا عندما يكون معرضا لوضع أحمال أخرى فوقه، وتنشأ هذه الإمكانية في المناطق المأهولة أو المناطق المتوقع تطويرها. ويجب أن تكون أول ٦ إلى ٨ بوصات من الردم الترابي فوق الأنبوب مباشرة من المواد الناعمة نوعا ما، وخالية من الكتل الكبيرة أو الصخور، وذلك لمنع تعرض الأنبوب وغلافه الذي يحميه من العطب عند إضافة بقية الردم الترابي المكون من أجزاء أكبر وأثقل ودكه.

وتبرز المشكلات عند ضرورة عبور خط الأنابيب للجمد السرمدي أو الطبقة المتجلدة باستمرار على عمق متفاوت تحت سطح الأرض في المناطق القطبية المتجمدة. ولمنع هبوط الأنبوب وانكساره وتسريبه، يجب أن يقوم التصميم المختار برفع الأنبوب على منشأة شبيهة بالمساند أو المناصب فوق سطح الأرض مدعومة بأساسات مقاومة للهبوط. وتوجد فتحات بين المساند الداعمة للسماح للحيوانات الفطرية الموجودة هناك بالهجرة من تحت الأنبوب. ولكن تأثير هذا النوع من التصميم على مثل تلك الهجرات غير معروف بعد.

المـمـرات المـائيـــة
WATERWAYS

الممرات المائية الطبيعية Natural Waterways. تستخدم، أحيانا، الممرات المائية الطبيعية—مثل البحيرات والبحار والأنهار—في صورتها الطبيعية دون أي تعديل. ولكن يصعب عادة استعمال تلك الممرات المائية الطبيعية بانتظام، خصوصا الأنهار دون بذل جهود كبيرة لتطويرها وصيانتها. ولتوفير ممرات ملاحية بأعماق مناسبة وصيانتها، لا بد أن يلجأ المهندس إلى التفجير المباشر والحفر، أو رفع الوحل من قاع النهر بوساطة الدلو أو عن طريق الشفط، أو بحصر الجريان وتركيزه لتوفير سرعات أعلى، وبذلك تكون القناة ذاتية الجريان أو ذاتية التنظيف. وتتميز الأنهار الشّابة، حسب العمر الجيولوجي، بانحداراتها الحادة وتياراتها السريعة. ويتم إيجاد أعماق ملاحية مناسبة عن طريق إنشاء السدود التي تحبس خلفها مسطحات مائية شبه راكدة. أما الجداول المائية المتعرجة الأقدم، فإنها تجري بسرعة أبطأ، ولكنها عرضة لتراكم الطمي والمرتفعات المرملة و، أيضا، لتغير القناة.

وقد أصدر مجلس النواب الأمريكي قرارا في ١٩٢٨م بتحديد المتطلبات الأساسية للقنوات المائية من أجل عمليات حركة الصنادل والتي حددت العرض بـ ٣٠٠ قدم (٤, ٩١ متر) والعمق بـ ٩ أقدام (٧٤, ٢ متر). وفي عام ١٩٤٤م، صدر قرار بزيادة العمق إلى ١٢ قدما (٦٦, ٣ متر) لنهر المسيسبي في أمريكا. ويتكون القطاع الطولي للنهر الحاتّ البطيء الجريان بدون وجود دوامات فيه (وهو الأفضل لأغراض الملاحة) من سلسلة من المرتفعات والمنخفضات. وتحدث المنخفضات العميقة، عادة، عند الانعطافات حيث تتجمع المرتفعات المرملة وتعمل كسد صغير. انظر الشكل (١٧, ٦).



الشكل (٦,١٧). قطاع عرضي ومنظر علوي لنهر يسري ببطء.

وفي الفترات التي يكون فيها الماء مرتفعا في المجرى المائي المفتوح، فإن الجريان عبر المرتفعات المرملة عادة ما يكون كافيا للعمق المطلوب للملاحة. أما في أوقات انخفاضه، فإن العمق يكون كافيا في المنخفضات، فقط، لذا يجب رفع الطمي من قاع القناة عند المرتفعات المرملة، ولكن يجب تكرار ذلك دورياً لأن تلك المرتفعات تعود

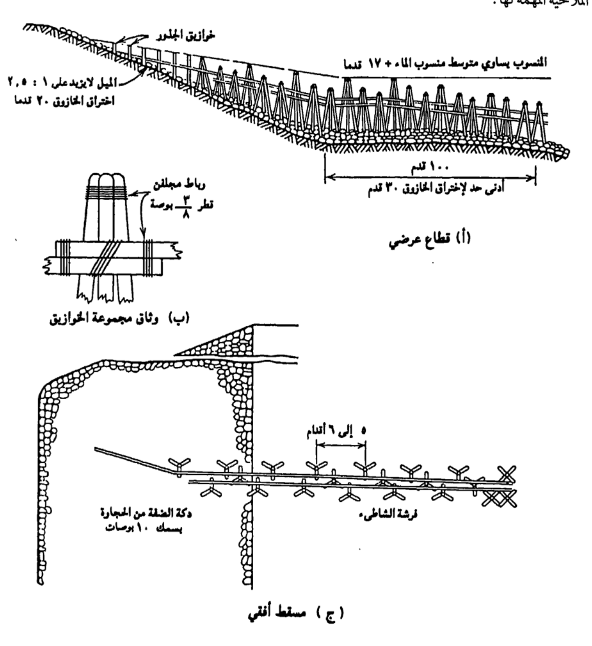
للظهور مرة أخرى بفعل حركة الطمي . وقد بنيت أساليب تنظيم القنوات المائية في الولايات المتحدة على نظرية جعل الجريان في الأنهار هو الذي يؤدي أكبر قدر من التنظيم ذاتيا وذلك عن طريق التصميم الذي يهدف لحصر معظم الجريان في قناة مائية واحدة ضيقة . وهذا ما يزيد سرعة الجريان والتقليب إلى مستوى كاف لبقاء القناة مفتوحة دون التأثير على المرتفعات المرملة والمنخفضات (التي توفر العمق الأدنى للملاحة في المياه المنخفضة) ، أو التأثير على قطاع القناة العرضي في المياه المرتفعة . وبهذه الحدود ، فإنه لا يمكن ، عادة ، الحصول على عمق إضافي يزيد على ٣ أقدام عند المرتفعات المرملة . وعادة ما يتم تقليل ترسبات الطمي في قاع القناة باستخدام حواجز خشبية (مرطم) تدق في القاع لتوجيه الإرساب في اتجاه بعيد عن المجرى المطلوب تعميقه . وتساعد على توجيه الإرساب إلى الوجهة المرغوب فيها قوة تيار الماء التي تحفر القاع لأن الحواجز الخشبية تدق في صورة معاكسة لاتجاه التيار مما يدعوه للحفر . انظر الشكل (١٨ , ٦) . ويجب أن لا تكون الزيادة في السرعة كبيرة لدرجة تعيق الملاحة . فيجب أن لا تزيد سرعة التيار على ٤ أميال/ ساعة في الأنهار المستخدمة بصورتها الطبيعية وغير «الممهدة» هندسيا ، كما يجب أن تبقى الزيادة في سرعة الجريان في هذا المدى . ويمكن أن يحصل تجاوز لمعدلات الجريان هذه لفترات قصيرة في مراحل الفيضانات التي تتطلب تعليق الحركة النهرية مؤقتا .

وتشكل عملية توجيه التيار للحصول على مسار أو محاذاة متعرجة بدلا من المحاذاة المستقيمةمشكلة أخرى في المجاري المائية الطويلة . إذ يمكن أن تعمل المحاذاة المستقيمة مع غياب أعمال التوجيه ، على عدم استقرار الموقع . ويحصل على محاذاة مستقرة باستخدام حواجز لتوجيه المياه . وتغلق القنوات الجانبية والأخاديد الموحلة باستخدام حواجز مستدقة الأطراف تعمل على ترسيب القنوات غير المرغوب فيها وسدها بالطمي المحمول بجريان النهر . وقد تنشأ حاجة لتوسيع القناة عند المنعطفات الحادة لصعوبة قيادة زوارق القطر حولها وتوجيها . ويجب أن تسمح تلك الانحناءات بأكبر قدر من التصريف خلال حالات الفيضانات ، وكذلك للملاحة خلال الأحوال العادية وفترات انخفاض المياه . ويحقق هذان المطلبان بوضع منحنيات انتقالية (حلزونية) عند نهايات المنحنيات الدائرية التي تكون المسار الرئيسي للمنحنى . وتأخذ هذه المنحنيات الانتقالية شكل القطع المكافىء المكعب Cubic Parabola (شبيها بالمنحنيات الانتقالية للسكة الحديدية) . وهذه المنحنيات الانتقالية ذات دقة تقريبية من وجهة النظر الهندسية . وأحيانا يجري التصميم برسم قطاع المنحنى بمقياس رسم معين ورسم نماذج لحركة زوارق القطر على هذه المنحنيات وهي في وضع التجاوز بمقياس الرسم نفسه .

وتشمل الأعمال الأخرى للتنظيم والصيانة تكسية جوانب المجرى بالأحجار أو الإسمنت لحمايتها وعمل السدود لحماية المناطق المأهولة على ضفاف المجرى المائي عند الفيضانات ورفع الأوحال من قاع الأنهار وإزالة جذوع الأشجار والأغصان من قاع النهر .

الأنهار «الممهدة» Canalized Rivers . إذا لم يمكن الحصول على عمق كاف لجريان الماء في النهر خلال العام بأساليب أخرى ، فيمكن اللجوء إلى أحواض التخزين التي توفر أحواضا صناعية بمياه شبه راكدة لأغراض الملاحة . وجعل النهر قناة مائية بهذا الأسلوب يزيد حركة الطمي مع فاقد في القدرة التخزينية لوادي النهر ، كما يتداخل مع تصريف

مياه الأراضي المحيطة به ويتسبب في زيادة كثافة التبخر من أسطح الخزانات المائية الضخمة شبه الراكدة. وبالرغم من أن موضوع تصميم السدود الملاحية خارج نطاق هذا الكتاب إلا أننا سنذكر هنا المتطلبات الأساسية والمميزات الملاحية المهمة لها.



الشكل (٦,١٨). مرطم يعمل على التنظيم الذاتي لسريان النهر.

(Courtesy of Robert W. Abbett, Editor, *American Civil Engineering Practice,* Vol. II, Wiley, New York, 1956, pp. 15-105, Figure 44.)

هناك متطلبان مهمّان لتصميم الأهوسة والسدود هما : (أ) يجب توفير احتياطات لعبور مياه الفيضانات دون زيادة ارتفاع الفيضان بسبب المياه المحجوزة خلفها، و(ب) يجب عدم إعاقة قدرة النهر على نقل الرواسب التي تجلبها الروافد، وإلا فإن تراكم الطمي سيصبح كبيرا مما يتطلب جهودا كبيرة لرفعه من القاع.[١٢]

ويجب ألا تنشأ هذه السدود والأهوسة إلا في الأنهار ذات المجاري الطبيعية للملاحة التجارية والتي تتمتع بقيعان وضفاف ثابتة ومستقرة. وعادة، لا تصلح الأنهار ذات الحركة الكثيفة لقيعانها التي يستدل عليها بتعرجها ووجود الكهوف في ضفافها ونشوء المرتفعات المرملة فيها، ولا الأنهار الشديدة الانحدار، لتحويلها إلى ممرات مائية ممهدة سواء من الناحية العملية أو من الناحية الاقتصادية.

كما يجب أن لا تزيد سرعة التيار المائي لها على ٤ أميال/ ساعة (٦,٤كم/ ساعة) من أجل كفاءة النقل المائي، وإلا فستكون هناك صعوبات في المحافظة على عمليات الحركة عكس التيار. وتوفر الأنهار «الممهدة» حلا لهذه المشكلة، وذلك بإنشاء سلسلة من الأحواض المحجوزة خلف السدود والتي يمكن أن تحد من سرعة التيار حتى ٣أميال/ ساعة (٤,٨٣كم/ ساعة) أو أقل خلال العام باستثناء الفترات التي يرتفع فيها منسوب الماء ارتفاعاً عالياً جدا. وتساعد القدرة الناتجة للملاحة في الاتجاه العكسي بكفاءة على إيجاد توازن لحركة النقل في الاتجاهين.

والسدود المستعملة في الممرات المائية الممهدة هي من النوع ذي الهدارات التي تسمح بجريان الماء فوق قمتها أو عتبتها. كما تصنف هذه السدود، أيضا، بأنها إما أن لها قابلية للملاحة وإما أنه ليس لها قابلية للملاحة. ويمكن، في الأوقات التي ترتفع فيها المياه، تخفيض منسوب السد الذي له قابلية للملاحة للسماح بالحركة فوق قمته أو أعتابه. انظر الشكل (٦,١٩). وهي تستعمل عندما يكون جريان الماء بحجم كاف يسمح بالملاحة المفتوحة لفترات طويلة خلال العام. أما السدود التي ليس لها القابلية للملاحة، فيمكن أن تكون قمتها ثابتة أو متحركة من النوع الذي يتحرك تحركاً نصف قطري (والمسماة بوابة تنتر taintor)، أو على بكرات. انظر الشكل (٦,٢٠). وتفضّل السدود التي ليس لها القابلية للملاحة والتي لها قمم متحركة في الولايات المتحدة لأن استخدامها يحقق استقرار منسوب سطح الحوض المائي عند مستوى ثابت تقريبا. وهذه مفيدة للعقارات والصناعات والأنشطة التطويرية الأخرى على طول ضفاف النهر. وتمتاز بوابات تنتر ببساطتها وفعاليتها، ولذا تستخدم، غالبا، في السدود التي ليس لديها القابلية للملاحة. أما البوابات المتحركة على بكرات فيمكنها تصريف الماء إما من تحتها أو من فوق قمتها، وهي مفيدة في جمع الثلوج والمخلفات الطافية على السطح بأقل قدر من الفاقد من المياه.

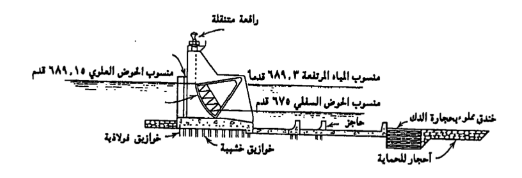
وأحد المتطلبات الضرورية للسدود هو توافر أساسات مستقرة وثابتة. ويجب توفير الحماية ضد حدوث الفجوات الأنبوبية الناشئة بفعل النخر، كما يعد وجود الجدران الجارفة مع المرشحات، في الاتجاه النازل، ضروريًا لمنع جريان التسرب وحدوث فجوات أنبوبية تحت السدّ. كما يجب القيام باستكشافات مفصلة ودقيقة جدا للتربة السفلية للسد.

---

(١٢) James H. Stratton, Canalized Rivers and Canals, Section 15, *River Engineering*, Abbett's American Civil Engineering Practice, Vol. II, Wiley, New York, 1956.

الحوض العلوي
الحوض السفلي

الشكل (٦,١٩). سد من النوع القابل للملاحة عبره.
(Courtesy of Robert W. Abbett, Editor, *American Civil Engineering Practice,* Vol. II, Wiley, New York, 1956, pp. 15-150, Figure 68.)



الشكل (٦,٢٠). سد بقمة متحركة.
(Courtesy of Robert W. Abbett, Editor, *American Civil Engineering Practice,* Vol. II, Wiley, New York, 1956, pp. 15-150, Figure 71.)

أهوسة الملاحـة Navigation Locks . تستخدم الأهوسة للتغلب على الارتفاع، سواء في القنوات الصناعية التي يصنعها الإنسان أو حول الشلالات والاندفاعات المائية في الأنهار المفتوحة أو للانتقال من حوض مائي لآخر بالاشتراك مع السدود التي ليس لها القابلية للملاحة. ويتم فيها رفع حركة السفن أو خفضها عبر قمة السد والارتفاع العائق لحركتها وذلك داخل غرف مستطيلة لها بوابات متحركة في كل جهة من جهتيها. وفي الحركة باتجاه أعالي النهر، تدخل السفينة في حجرة الهويس عبر البوابات المفتوحة في الجانب المنخفض ثم تغلق تلك البوابات خلفها

وتفتح محابس تسمح بمرور الماء من الحوض المائي الأعلى إلى حجرة الهويس حتى يرتفع مستوى الماء فيها إلى مستوى الحوض الأعلى، عندها تفتح بوابات أخرى في اتجاه الحركة لأعالي النهر وتنطلق السفينة مرة أخرى في رحلتها. وتنعكس هذه الخطوات في حالة الحركة في الاتجاه المعاكس نحو مصبات الأنهار. وعادة ما تستغرق هذه العملية مابين ٢٠ و ٣٠ دقيقة، ولكنها قد تصل إلى ساعة أو ساعتين إذا كان هناك عدد كبير من الصنادل المقطورة، مما يتحتم معه فصلها وعبورها عبر حجرتي هويس أو أكثر ثم جمعها مرة أخرى.

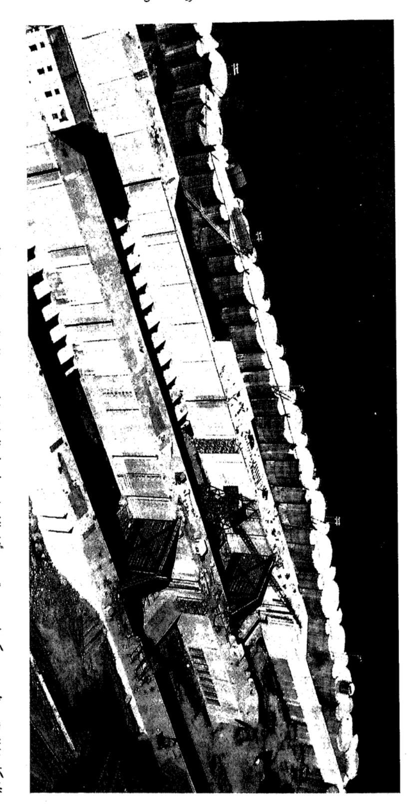
وتنشأ الأهوسة من الخرسانة أو الصخور أو أنواع الخوازيق الحديدية مع ردمها بالتراب أو الصخور. وما لم تفرش من الصخور، فإنه لا بد من عمل أرضية لها لمنع النحر بفعل الجريان المضطرب عند تفريغ و حجراتها وملئها. أما تصميم جدار حجرة الهويس، فهو شبيه بتصميم السدود والجدران الاستنادية، وهذا الموضوع خارج نطاق هذا الكتاب. أما أبواب حجرة الهويس فهي من الخشب أو الحديد أو الخرسانة المصممة للعمل إما بتداخل أجزائها عمودياً وإما بتدحرجها أو برفعها رأسيا. انظر الشكل (٢١,٦).

ويتم ملء حجرات الهويس وتفريغها عبر مجار في الجدران مركب عليها محابس للتحكم بجريانها. ويجب تجهيز حجرة الهويس بالبوابات في أعلاها وأسفلها. وتستعمل محابس من النوع النصف قطري (تينتر)، أو الأسطواني أو الفراشي للتحكم بالماء.

والسرعة في ملء حجرة الهويس وتفريغها أمر ضروري من أجل الحركة السريعة عبر الأهوسة. ولكن الجريان السريع جدا، خصوصا في بداية العملية، يتسبب في الاضطراب غير المرغوب فيه في كل من حجرة الهويس والحوض المائي. وعند ملء حجرة الهويس بسرعة عالية بالنسبة لحركة السفن لأعلى، فإن ذلك يمكن أن يتسبب بوجود قوة سحب للأسفل في سطح الحوض المائي العلوي كافية للعمل على جعل السفن تلامس القاع. كما أن التدفق العالي للأسفل يمكن أن يقلل بخطورة من الارتفاع الرأسي الصافي تحت الجسور والعوائق العلوية الأخرى. ويمكن أن تتسبب كلتا الحالتين في حدوث نحر ضفاف النهر.

ويجب أن يحتوي تصميم حجرات الهويس على وسائل لتثبيت المراكب في مكانها عن طريق ربطها بالأسلاك، وذلك لمنع تحركها بفعل الدوامات المضطربة وتقليل العطب في المركب وحجرة الهويس. ويمكن أن تتراوح قوة الشد في أسلاك ربط الصنادل بين ٢٠٠٠ رطل (٩٠٨كغم) للمراكب الصغيرة، و ٥٠٠٠ رطل (٢٤٩٧كغم) أو أكثر للمراكب الكبيرة. وقد وضعت تصاميم مختلفة للمجاري المائية في الهويس ومواقعها والتحكم بها والتي تهدف لتقليل الاضطراب في حجراتها. وتضع بعض التصاميم منافذ الهويس في أسفل الجدران، بينما تضعها بعض التصاميم الأخرى في قاعدة حجرة الهويس، في حين تستعمل تصاميم أخرى كلا الطريقتين. وعلى سبيل المثال، يمكن ملء سلسلة من الأهوسة الصخرية بطول ١,٢٠٠ قدم (٣٦٥,٧٥متر) في نهر المسيسبي، بالقرب من مدينة سانت لويس، بالمياه في غضون ٧,٥ دقيقة بكل أمان.

وتتحدد أبعاد حجرة الهويس تحديداً كبيراً حسب مقاسات المراكب التي سوف تستخدمها، ولكنها أيضا تتحدد جزئيا حسب مسار المجرى المائي. ويجب أن تكون حجرة الهويس وجدران التوجيه والإرشاد المجاورة لليابسة على استقامة واحدة. (لا تمدّ جدران النهر إلا في الجزء المرتفع من السدّ لمنع المراكب من السير فوق السد أو



الشكل (٦,٢١). منظر يوضح مكونات حجرة هويس أثناء الإنشاء وتظهر فيه البوابات الخشبية ومرافئ الفيضان في نظام العبّارات الجانبية للهويس.

(Courtesy of Dravo Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania.)

حول المياه المضطربة المحجوزة) . وعندما يكون النهر منعطفا انعطافاً حاداً، يصعب وضع الأهوسة الطويلة وجدران اليابسة عندها .

وقد كانت المقاسات المعتادة لأهوسة نهر المسيسيبي ١١٠ أقدام × ٦٠٠ قدم . ولكن هذه الأبعاد لم تعد مقبولة اليوم للتصميم الحديث لمعدات الطفو . ويمكن أن تتراوح مجموعة القطر بين ٦ و ٢٠ صندلاً تتفاوت في مقاساتها بين ٢٥ قدما × ١٧٥ قدماً، بغاطس عمقه ١٠ أقدام و ٤٨ قدماً × ٢٨٠ قدماً بغاطس عمقه ١١ قدما . وأصبح طول ١٢٠٠ متر للهويس هو الطول القياسي عندما تسمح الظروف . ويسمح هذا الطول لمجموعة قطر مكونة من ١٨ وحدة، أبعاد الواحدة ١٩٥ قدما × ٣٥ قدما (٥٩,٤ متر × ١٠,٧ متر)، منها ١٧ صندلاً وزورق قطر واحد - على ثلاثة صفوف في كل صف ٦ وحدات - باستخدام الهويس في الوقت نفسه . بينما يسمح الهويس بطول ٦٠٠ قدم (١٨٢,٩ متر) بـ ١٢ وحدة، فقط، من النوع نفسه، على ٣ صفوف في كل صف ٤ وحدات .

أما في البحيرات العظمى الأمريكية فإن مقاسات سفن البضائع السائبة هي التي تحكم، ويمكن أن يصل طول هذه السفن إلى ٧٣٠ قدماً (٢٢٥,٥ متر) . وعلى سبيل المثال، يبلغ طول هويس ماكارثر (MacArthur)، الذي يعد أضخم الأهوسة وأحدثها بناءً (١٩٤٩م) ٨٠٠ قدم (٢٤٣,٨ متر)، وعرضه ٨٠ قدما (٢٤,٤ متر)، وعمقه ٣١ قدما (٩,٤٥ متر)، وقدرة رفعه للسفن ٢١ قدما (٦,٤٠ متر) . وقد بلغت تكلفة إنشائه ١٤ مليون دولار أمريكي . ويبلغ طول كل من هويس ديفس (Davis) وسابين (Sabin) ١٣٥٠ قدما (٤١١,٤٦ متر)، بعرض ٨٠ قدما (٢٤,٤ مترا)، وعمق ٢٣,١ قدما (٧,٠٤ مترا) . أما هويس بو (Poe) الحديث فإنه مصمم بطول ١٢٠٠ قدم (٣٦٥,٨ متر)، وعرض ١١٠ أقدام (٣٣,٥ متر)، ويستطيع استيعاب سفن تزن الواحدة منها ٤٥٠٠٠ طن (٤٠٨١٥ طنا متريا)، بطول ١٠٠٠ قدم (٣٠٤,٨ متر) وعرض يتراوح بين ١٠٠ و ٢٠٠ قدم (٣٠,٥ إلى ٣٢,٠ مترًا) .

تصميم القنـــوات Channel Design. يتطلب التصميم الجيد للقنوات توفير عرض وعمق مناسبين، بالإضافة إلى عوامل أخرى مهمة . ويعتمد عرض القناة على طبيعة التضاريس وحجم الحركة المرورية وكثافتها وعما إذا كانت الحركة في الاتجاهين (أو في اتجاه واحد مع نقاط للتجاوز على مسافات متفرقة) ضرورية . وعرض معظم القنوات داخل اليابسة ٢٠٠ قدم (٦٠,٩١ متر) أو أكثر . وإذا قل عرض القناة عن ذلك فإن ازدحام الماء بين جدران القناة وجسم السفينة يزيد مقاومة حركة السفينة وقد يقلل عمق القناة .

ويجب أن يكون العمق كافيا لعبور الغاطس المرغوب فيه، بالإضافة إلى مسافة إضافية تتراوح بين ٤ و ٦ أقدام (١,٨٣ متر) (تعتمد على ارتفاع الأمواج والسرعة المرغوب فيها) وذلك لاستيعاب هبوط مؤخرة السفينة، أو مقاومة الرقّاص للسحب لأسفل . وفي حالة العمق الأدنى، يمكن تخفيض سرعة السفينة للتقليل من تأثير عامل هبوط المؤخرة . كما أن العمق المناسب والمنتظم عاملان مهمان، أيضا، لتخفيض مقاومة السفينة .

وعلى سبيل المثال، يوفر نظام الملاحة في البحيرات العظمى الأمريكية - ممر سانت لورانس البحري (St. Lawrence)† - عمقا أدنى قدره ٢٧ قدما (٨,٢٣ متر) على طول الممر المائي . وعلى ذلك، يمكن لمعظم سفن المحيطات دخول البحيرات العظمى بكامل غاطسها . كما يمكن للسفن الأضخم الدخول، أيضا، بغاطس أقل عن طريق

تفريغ بعض الحمولة في ميناء مونتريال الكندي ثم التحميل مرة أخرى عند الخروج من البحيرات العظمى . وقد جرى تطوير هذا الممر البحري تطويراً أفضل عن طريق جعل الجزء الجنوبي منه مستقيما (افتتح في ١٩٧٣ م) وإزالة عديد من الجسور التي كانت منصوبة فوق القناة .

اقتصاديات السدود والأهوسة Lock-Dam Economics. تبرز عند تصميم نظام الأنهار الممهدة مشكلة اقتصادية تتمثل في الاختيار بين عدد قليل من السدود عالية الارتفاع مقابل عدد أكبر من السدود القليلة الارتفاع . والاتجاه السائد هو للارتفاعات العالية . فعلى سبيل المثال ، شقت قناة نهر أوهايو الأمريكي في عام ١٩٢٩ م بنظام مكون من ٥٢ هويسا وسدا . وابتداء من عام ١٩٥٥ م ، يجري استبدال هذه بـ ١٩ هويسا جديدا عالي الارتفاع . وتم زيادة طول الأهوسة من ٦٠٠ قدم (١٨٢,٨٨ متر) إلى ١٢٠٠ قدم (٣٦٥,٧٦ متر) ، مع بقاء العرض نفسه لهاالذي قدره ١١٠ أقدام (٣٣,٥٣ متر) .[١٣] ويقدّر أن الارتفاعات الأعلى والمقاسات الأكبر للأهوسة ستوفر يومين من الوقت اللازم للقطر بين مدينتي بتسبرج (في ولاية بنسلفانيا) والقاهرة (في ولاية إلينوي الأمريكية) . وهناك خطط مشابهة للتحسينات لأجزاء أخرى من نظام النقل المائي داخل اليابسة في أمريكا .

القنوات الاصطناعية Man-made Canals. تنقسم القنوات الاصطناعية إلى قسمين عامين هما : (أ) قنوات الاتصال التي تصل بين بحرين أو محيطين أو بحيرتين على المستوى نفسه ، و(ب) قنوات الاتصال التي تخترق منطقة عالية والتي يجب استخدام الأهوسة فيها كما شرحنا أعلاه . وتتحرك المراكب عبر القنوات إما بقدرتها الذاتية أو بجرها بالخيول أو البغال أو بالقاطرات الكهربائية التي تسير على مجرى القطر أو سكته على جانب القناة وبطولها ، كما هو الحال في قناة بنما ، حيث تساعد القاطرات الكهربائية في جر السفن بالإضافة إلى محركات السفن .

ويجب ألا تسمح مواد ضفاف القناة بالتسرب أو الترشيح الزائد لمياه القناة . وقد يكون جزء من ميل الضفة من الحواجز الترابية المكونة من التراب المستخرج من قاع القناة . وتُنشأ ضفاف أو حواجز القناة والأنهار ، أيضا ، كما في السدود الترابية ، بتربة ناعمة التدرج غير نفاذة يوضع فوقها جزيئات أكبر لمقاومة إزالتها بالأمواج .

وإحدى المسائل الأساسية في تصميم القنوات ومواقعها هو الحصول على الماء وحجزه ليعمل على طفو السفن . وفي تصميم قنوات الاتصال عند المنسوب الثابت نفسه ، فإن الماء يسري من كلا الاتجاهين من الأسطح المائية المتصلة . كما يمكن ، أيضا ، الحصول على الماء لأي نوع من القنوات عن طريق وصلها بالأنهار الموازية لها أو بالبحيرات (كما تم في قناة الصنادل بولاية نيويورك) ، أو عن طريق الجداول المائية العرضية بجعلها تصب في القناة ، أو ببناء خزانات مائية لتزويد القناة عند عدم إمكانية تطبيق البديلين الأولين ، فمثلا ، يؤدي سد جاتون (Gatun) في قناة بنما هذه الوظيفة .

---

(١٣) "Big Load A float", *The American Waterway Operators*, Washington, D.C., 1973, p. 40.

ولا يعد الضخ، عادة، طريقة اقتصادية لتزويد القنوات بالمياه، باستثناء القنوات المائية القصيرة جدا. ويمكن، أحيانا، تحقيق الاقتصاد في الإنشاءات الأولية للقناة وتزويدها بالمياه باستخدام بعض المجاري الطبيعية كأجزاء للقناة. ولكن هذا الإجراء قد يكون خادعا لأن هذه القنوات قد تصبح غير قابلة للملاحة عند الفيضانات أو المياه المنخفضة. ويجب الحرص على تجنب تلامس القناة الصناعية مع الجداول المائية القريبة إلا في حالة الحصول على الماء منها بوسائل تحكم معينة لملء القناة الصناعية. ويمكن تجاوز المجاري المائية الأخرى إما بردمها ودكها مع تحويل مسارها، أو بعبورها عبر جسور، أو عن طريق تَعْب (Siphoning) (جريان) الجداول المائية الصغيرة تحت قاع القناة.

أسئلـــة للدراســـــة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - باستخدام نظرية المخروط لتوزيع حمل العجلة، حدد قدرة تحمل التربة لدعم حمل عجلة قدره ٦٠٠٠ رطل، منقول بوساطة إطار مطاطي مقاسه ٣٢ بوصة × ٦ بوصات إلى رصف سماكته ٦ بوصات.

٢ - ناقش الأخطاء الأساسية في نظرية المخروط لتوزيع حمل العجلة، وبين كيف تم تلافيها في المعادلات التي طورت لأحمال عجلات الشاحنات الثقيلة والطائرات.

٣ - ما السماكة المطلوبة للرصف المرن لمدرج طائرات مصمم لاستقبال طائرات الوزن الإجمالي للواحدة ٦٠٠٠٠ رطل، وتستخدم إطارات مقاسها ١٧ بوصة × ١٨ بوصة، ويبلغ ضغط الإطارات ٦٥ رطلاً/ بوصة مربعة؟ مع العلم بأن المدرج سينشأ على قاعدة ترابية قدرة تحملها ٤٥ رطلاً/ بوصة مربعة.

٤ - تبين نتائج مسح حجم التدفق المروري اليومي على حارة مرورية لطريق ما وجود ٥٠ مركبة بمحاور مترادفة تحمل تقريبا ٢٢٠٠٠ رطل على كل زوج من المحاور، و٢٠ شاحنة بأحمال محورية قدرها ١٥٠٠٠ رطل. ما الأحمال المحورية الفردية القياسية اليومية المكافئة (١٨٠٠٠ رطل) المحمولة فوق رصف هذه الحارة؟

٥ - أوجد كلا من الرقم الإنشائي والسماكة الكلية وسماكة كل من طبقة السطح وطبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس لرصف طريق مقترح سيحمل حوالي ٢٠٠ محور مترادف حمولة كل منها ٢٨٠٠٠ رطل (١٢٧٠٠كغم). مع العلم بأن قيمة نسبة قوة تحمل كاليفورنيا (CBR) للقاعدة الترابية تبلغ ٥٠٠ وأن المواد المكونة للطريق معرضة للتجمد حتى عمق ٤ بوصات أو أكثر، وتصبح رطبة خلال فصل الربيع بسبب ذوبان الجليد والأمطار التي تهطل لفترات طويلة، كما أن المواد المتوافرة تسمح باستخدام الخرسانة الزفتية عالية الاستقرار لطبقة السطح، ويمكن الاختيار بين الحجر المسحوق والرمل كمواد لطبقة الأساس وطبقة ما تحت الأساس.

٦ - ما العمق المطلوب لطبقة حصى الفرش لإعطاء توزيع منتظم للضغط على أساس سكة حديدية تتعرض لحمل عجلة قدره ٦٠٠٠٠ رطل ولها عوارض على مسافة بينية لمحاورها قدرها ٢١ بوصة؟ مع العلم بأن أبعاد العارضة هي ٧ بوصات × ٨ بوصات × ٨ أقدام و٦ بوصات.

٧ - (أ) صف خصائص التربة المثالية لاستخدامها قاعدةً ترابية . (ب) إلى أي مدى يمكن وجود مثل هذه التربة المثالية في الطبيعة؟

٨ - ما الذي يمكن عمله للتعويض عن الضعف الموجود في التربة كي تصبح صالحة للاستعمال في إنشاء القاعدة الترابية؟

٩ - ما أوجه الشبه بين مشكلات تصميم القاعدة الترابية والقنوات المائية وإنشائها؟ ما أوجه الاختلاف؟

١٠ - ما الصعوبات ومصادر الخطأ الممكنة عند تحديد مقاسات فتحات تصريف السيول باستخدام الطريقة المنطقية؟ ما مزايا استخدام معادلة تجريبية لهذا الغرض وما أخطارها؟

١١ - أوجد نسبة إجهاد الانحناء المسموح بها المتولدة في قضيب بتصميم رمزه (RE١١٥) عند سرعة ٥٠ ميلاً/ ساعة، وكذلك عند سرعة ٩٠ ميلاً/ ساعة، إذا كان القضيب موضوعا في سكة حديدية معامل مرونتها ٢٨٠٠ . ملاحظة: كقاعدة عامة، لحساب التحميل الديناميكي يزاد الحمل الساكن بنسبة ١٪ لكل ميل لكل ساعة .

١٢ - مُدّت سكة حديد بقضبان من النوع (CF&I١٣٦) على عوارض أبعادها ٨بوصات × ٩ بوصات × ٩أقدام بمسافات محورية بينية قدرها ٢١ بوصة . والسكة مثبتة في طبقة من حصى الفرش مكونة من الصخور فوق طبقة أساس لها قوة دعم رأسية قدرها ٨ أرطال/ بوصة مربعة . ما العمق الأدنى المطلوب لطبقة حصى الفرش تحت العوارض من أجل سكة مستقرة تتحمل أحمال عجلات قدرها ٣٠٠٠٠ رطل؟

١٣ - باستخدام معطيات السؤال ١٢ ، وبافتراض معامل لمرونة السكة قدره ٢٥٠٠ ، احسب القيم القصوى للانحناء وعزم الانحناء وإجهاد الانحناء للقضيب .

١٤ - باستخدام قضيب من النوع (RE١٣٢) ، وحمل محوري قدره ٦٠٠٠٠ رطل، احسب إجهادات التلامس للحالات التالية :

(أ) عجلة جديدة على قضيب جديد

(ب) عجلة جديدة على قضيب قديم

(جـ) عجلة قديمة على قضيب جديد

(د) عجلة قديمة على قضيب قديم

لخص نتائجك على شكل جدول وعلق على العلاقة بين هذه النتائج وإجهادات التلامس المسموح بها .

١٥ - يراد تصريف المياه في منطقة بيضاوية الشكل تقريبا (قطع ناقص) مكونة من جزئين متباينين، يتكون الأول من ٨٠ فداناً، ويغطي منطقة سكنية مزدحمة، وله ميل قدره قدمان لكل ١٠٠٠ قدم . أما الجزء الآخر فيغطي ١٠٠ فدان من الأشجار، وعمليا أرضيته مستوية، ويبلغ وقت التركيز عند عبّارة في النهاية السفلية للمنطقة الطويلة والضيقة ٣٠ دقيقة . وهذا الطريق مهم ومزدحم وبحارتين مروريتين يصل بين منطقة حضرية وضاحية سكنية . ما هو مقاس فتحة تصريف السيول الذي توصي به؟

١٦- ما المسافة البينية المتوقعة بين الشقوق العرضية في رصفية خرسانية موضوعة على قاعدة ترابية ، مع العلم بأن عرض الرصفية ١٢ قدما وسماكتها ٨ بوصات وأن الخرسانة تزن ١٥٠ رطلاً/ قدم مكعب؟

١٧- ما الوقت التقريبي لعبور كل من المراكب التالية عبر هويس في نهر المسيسيبي طوله ٦٠٠قدم :

- زورق قطر يقطر ٦ صنادل .
- زورق قطر يقطر ١١ صندلاً .
- زورق قطر يقطر ٢٠ صندلاً .

قــراءات مقترحـــــة
SUGGESTED READINGS

1. Karl Terzaghi and R. B. Peck, *Soils Mechanics in Engineering Practice,* Wiley, New York, 1948, pp. 372–406.
2. H. O. Sharp, G. R. Shaw, and J. A. Dunlop, *Airport Engineering,* Wiley, New York, 1948, Chapters VIII and IV, pp. 63–110.
3. L. I. Hewes and C. H. Oglesby, *Highway Engineering,* Wiley, New York, 1963, Chapters 13 to 19.
4. W. W. Hay, *Railroad Engineering,* Vol. I, Part Two, Wiley, New York, 1953.
5. *Handbook of Drainage and Construction Products,* Armco Drainage and Metal Products, Middletown, Ohio, 1958, Sections VI, VII, and VIII, pp. 195–379.
6. *Concrete Pavement Design,* Portland Cement Association, Chicago, Illinois, 1951.
7. Eugene Y. Huang, *Manual of Current Practice for the Design, Construction, and Maintenance of Soil-Aggregate Raods,* Engineering Experiment Station, University of Illinois, Division of Highways, State of Illinois, and Bureau of Public Roads, U.S. Dpartment of Commerce, Urbana, 1958.
8. N. M. Newmark, *Influence Charts for Computation of Stresses in Elastic Foundations,* Engineering Experiment Station, Bulletin Series No. 338, University of Illinois, Urbana, May 1951.
9. Reports of the Special Committee for the Study of Track Stresses, *A.R.E.A. Proceedings, First Progress Report,* Vol. 19, 1918, Second Progress Report, Vol. 21 1920.
10. H. M. Westergaard, Stresses in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analysis, *Public Roads,* Vol. 7, No. 2, April 1926.
11. H. M. Westergaard, Analytical Tools for Judging Results of Sturctural Tests of Concrete Pavements, *Public Roads,* Vol. 14, No. 10, December 1933.
12. Nai C. Yang, *Design of Functional Pavements,* McGraw-Hill, New York, 1972.
13. E. J. Barenberg, *A Structural Design Classification of Pavements Based on an Analysis of Pavement Behavior, Material Properties, and Modes of Failure,* PhD thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois, 1965.
14. *Full Depth Pavements ofr Air Carrier Airports,* The Asphalt Institute, Manual Series No. 11 (MS-11), College Park, Maryland, January 1973 edition.
15. *Flexible Pavement Design Guide for Highways,* National Crushed Stone Association, Washington, D.C., 2nd edition, October 1972.

16. *AASHTO Interim Guide for Design of Concrete Pavements,* American Association of State Highway Officals, Washington, D.C., 1972.
17. M. T. Salem and W. W. Hay, *Vertical Pressure Distribution in the Ballast Section and on the Subgrade Beneath Statically Loaded Ties,* Civil Engineering Studies, Transportation Series No. 1, University of Illinois, Urbana, Illinois, July 1966.
18. *Handbook of Steel Drainage and Highway Construction Products,* American Iron and Steel Institute, New York, 1971.
19. *Handbook of Concrete Culvert Pipe Hydraulics,* Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 1964.
20. Horonjeff, R. *Planning and Design of Airports,* McGraw-Hill, New York, 1962.
21. E. J. Yoder, *Principles of Pavement Design,* Wiley, New York, 1967.
22. *Soils and Base Characteristics, Classification, and Planning,* Highway Research No. 405, Highway Research Board, Washington, D.C., 1972.
23. *Performance of Composite Pavement, Overlays, and Shoulders,* Highway Research Record No. 434, Highway Research Board, Washington D.C., 1973.
24. *Asphalt Concrete Pavement Design and Evaluation,* Transportation Research Record No. 521, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1974.
25. *Bituminous Mixtures, Aggregates and Pavements,* Transportation Research Record No. 549, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1975.

الفصل السابع

أنظمة للمستقبل
SYSTEMS FOR THE FUTURE

منطق البحث والتطوير
RESEARCH AND DEVELOPMENT LOGIC

الحاجة إلى أنظمة متطورة Need for Improved Systems. من طبيعة الإنسان الارتقاء إلى مستوى التحدي لتحسين مختلف العناصر والإجراءات التي تؤدي إلى رفع مستوى معيشته . ويواجه الإنسان بعديد من مشكلات النقل وتحدياته التي تتطلب الحلول العاجلة قبل أن ينهار نظام النقل الحالي أو قبل أن يفقد قدرته على أداء الخدمة .

ويُوجد النمو السكاني طلبا متزايدا على خدمات النقل سواء من حيث نقل الأفراد أو توفير الغذاء وضروريات الحياة الأخرى . وتتركز الجهود الرئيسة حاليا على زيادة سرعة الانتقال أو تقليل زمن الانتقال خاصة بالنسبة لحركة الأفراد . ويتم التفكير في تقليل زمن الانتقال كلما توسعت المدن وأحاطت بالضواحي والمناطق المأهولة حولها حتى تصبح هذه جزءا من المدن . ويستغرق الانتقال اليومي بين هذه المناطق وقتا أطول بسبب طول المسافة واختناق المرور . كما أن الأجزاء الداخلية من المدينة تفقد مرونة الحركة فيها ، أيضا ، بسبب الاختناقات المرورية وافتقارها للطرق المؤدية إلى مناطقها وأحيائها المختلفة .

ومن ناحية أخرى ، فإن السرعة العالية للطائرات تفقد مفعولها بسبب الاختناقات والتأخير في المطارات الذي يحدث للمسافرين وللطائرات وكذلك صعوبات الانتقال الأرضي من المطارات وإليها . وحتى السرعة والسلامة التي كانت توفرها السكك الحديدية التي نالت كثيرا من الإطراء فقدت مفعولها نظرا لما يبدو من عدم قدرة صناعة السكك الحديدية على توفير الصيانة المناسبة والتشغيل الذي يُعتمد عليه .

وقد شاع استعمال السيارات والشاحنات في جميع أنحاء العالم إلا أنها تساهم مساهمة رئيسه في تلوث الهواء . كما أن قدرا كبيرا من التلوث يأتي ، أيضا ، من الطائرات . ويضيف النقل المائي إلى تلوث المياه ، وتخلف

جميع وسائط النقل ضجيجا غير مرغوب فيه . وبما أن وسائل النقل كافة تستخدم الوقود بشراهة ، لذلك فإن تطوير وسائل نقل تستخدم الطاقة بكفاءة يعد هدفا ملحا لأي جهود تطويرية مستقبلية . كما أن معدلات التضخم المتزايدة تتطلب الاقتصاد في استهلاك تلك الوسائل للطاقة . ومن ناحية أخرى ، فإن التغيرات التي تطرأ على مواقع المراكز السكنية والأسواق ومصادر المواد الأولية ومراكز الإنتاج تتطلب تطوير مسارات جديدة أو قليلة الاستعمال مع وجود الفرصة للبدء من الصفر بتقنيات جديدة ولكنها موثوقة .

وهناك عدم توازن في نمو نظم النقل . فالطائرات ، مثلا ، شهدت تطورا تقنيا وماليا إلا أنها لا تمثل إلا جزءا واحدا من متطلبات النقل الكامل من الباب إلى الباب . إذ يجب أن تكون جميع أجزاء الرحلة من الباب إلى الباب مناسبة ويجب استخدام كل وسيلة نقل في المجال الذي تحقق فيه أقصى منفعة . ولا تزال مشكلة نظام النقل غير المتوازن بحاجة إلى حل .

أسس التصميم والتحليل Basis for Design-Analysis. إن أساليب التخطيط والبحث والتطوير اللازمة لسد احتياجات الحاضر والمستقبل يجب أن تقوم على عدة أسس . وأحد هذه الأسس هو عامل الزمن . فكل جانب من جوانب المشكلات التي تطرقنا إليها تحتاج حلاً عاجلاً . فلا يمكننا أن نعتمد في حاضرنا على الأنظمة الجديدة المقترحة للمستقبل لأنه من المحتمل أن يتم تبني استخدام عديد من الاختراعات المدهشة ولكن في زمن مستقبلي . فقد أثبتت التجارب الاختبارية لعديد من هذه الاختراعات الجدوى التقنية لها . إلا أن الجدوى التقنية تنفصل تماما عن الواقع التشغيلي والعملي لهذه الاختراعات . فالتصميم التقني يجب تطويره إلى نظام عملي خال من العيوب تماما ويمتاز بالسلامة والاعتمادية والخدمة الاقتصادية اليومية بغض النظر عن حالة الطقس أو أية متطلبات أخرى منه .

إن هذه المرحلة من التطوير لعديد من الأنظمة المتقدمة لن يتم الوصول إليها إلا بعد عدة سنوات في المستقبل . فالأموال الكثيرة المستثمرة في المرافق الحالية تجعل التغييرات تحدث ببطء . ويجب أن يضاف إلى الوقت المطلوب للبحث والتطوير فترة تشمل المناقشات التي تتم لاختيار النظم الأفضل للاستعمالات المختلفة ، ومسألة تمويل البحث والتطوير لهذه النظم والزمن المطلوب لاقناع صانعي القرار والتصميم الفعلي وامتلاك الأرض والمسائل القانونية والتشييد النهائي مع الاختبارات اللازمة للتأكد من عدم وجود عيوب . وإلى أن يتم ذلك ، ربما يبلغ التأخير منذ بزوغ الفكرة إلى أن تصبح حقيقة فترة تتراوح بين ١٥ و ٢٠ سنة . ومثال ذلك أن نظام الطرق الرئيسية بين الولايات الأمريكية لم يكتمل بعد رغم أن التخطيط الأولي له قد بدأ في منتصف الثلاثينيات (١٩٣٠م) و أقرّ القانون الخاص به في عام ١٩٥٦م . كما أن خط النقل العام السريع في مدينة تورونتو تأخر ١٥ سنة ، ونظام مدينة مونتريال تأخر ١٦ سنة . وبدأ التخطيط لنظام النقل السريع في مدينة سان فرانسيسكو في عام ١٩٥١م ، ولم تكتمل جميع الخطوط ويبدأ تشغيلها إلا في عام ١٩٧٦م . ويجري حاليا تصحيح الأخطاء الخاصة بنظام التحكم الآلي في القطارات وعيوب المعدات الخاصة بها والتي حدّت من تقاطر الخدمة ودرجة الاعتماد عليها .

وفي العاصمة الأمريكية، واشنطن دي. سي، استغرق تخطيط المشروع وتنفيذه ١٤ سنة، وافتتح في عام ١٩٧٦م بخمس محطات وجزء طوله ٦,٤ ميل، إلا أن المشروع الكلي كما هو مخطط له يبلغ طول خطوطه ٩٨ ميلا ويخدم ٨٦ محطة.

وهذه النظم تستخدم أحدث المعدات وطرق الإنشاء التي لم تتطلب فترة طويلة للبحث والتطوير. وتشير احتياجات الاختراعات الحديثة لنظم النقل من متطلبات الطاقة الكبيرة والانخفاض النسبي لسعة مركباتها والتكاليف الباهظة لطرقها إلا أن العوامل الاقتصادية قد تزيد زمن التأخير في ظهورها وتشغيلها لعدة سنوات أخرى. وعلى العكس، فإن الضغط الناشئ عن نقص الطاقة ومشكلات التلوث قد يتطلب بذل المزيد من الجهد لسد الاحتياجات خلال مدة أقل.

وإذا كنا نتوقع فترة تأخير يتراوح قدرها بين ١٠ و ٢٠ سنة منذ بزوغ فكرة ما لوسيلة نقل جديدة حتى تصبح حقيقة واقعة، فيجب أن نكون قد بدأنا فعلا بالبحث والتطوير للاختراعات الحديثة لنظم النقل لسد احتياجات العقود الثلاثة القادمة.

أهداف التطوير Development Goals. ما الأهداف التي يجب أن تحكم عملية البحث والتطوير لأنظمة المستقبل؟ هناك عديد من المجالات الممكنة للتطوير:

(أ) **السرعة:** إن السرعة العالية التي تسخر دائما لنقل الأشخاص قد كانت دائما محط تطلعات الناس لأنظمة النقل المستقبلية بالرغم من عدم توافق السرعة العالية مع طبيعة احتياجات المناطق الحضرية التي تستعمل فيها تلك الوسائل. وبالطبع، فإن السرعة العالية مطلب أكيد للنقل بين المدن والانتقال المستقبلي لمسافات طويلة. وإذا استمرت المناطق العمرانية في التوسع واستمر زمن التنقل من الضواحي وإليها في الازدياد فإن السرعات المرتفعة لوسائل النقل تصبح ضرورية لنقل الأفراد والسلع من المناطق المركزية داخل المجمعات الحضرية وإليها.

وأحد اتجاهات الحل هو تخفيض مدة السفر من الباب إلى الباب عن طريق استخدام نظام النقل الأرضي عالي السرعة بحيث يكون قادرا على منافسة النقل الجوي من حيث زمن الانتقال الكلي في الجو والأرض وتتيح التقنية الحالية استخدام تلك النظم لمسافات تتراوح بين ٣٠٠ و٦٠٠ ميل.

إن الطائرات النفاثة التجارية الحالية تطير بسرعة ٦٠٠ ميل في الساعة أو أكثر (٩٦٥,٤كم/ ساعة) بينما تطير الطائرات العسكرية بسرعة تزيد على الألف ميل في الساعة. وبالإمكان تطوير وسائل النقل البري التقليدية لتسير بسرعة تتراوح بين ١٢٥ و ٢٠٠ ميل في الساعة (٢٠١ إلى ٣٢٢كم/ ساعة). وتتطلب تكاليف تطوير أنواع جديدة من وسائل النقل البري التي تسير بسرعة عالية أن تكون هذه السرعات عالية علواً كافياً بحيث تبرر التكاليف التي تصرف في البحوث والتطوير. لذلك، فإن السرعة التي تتراوح فيما بين ٣٠٠و ٥٠٠ ميل في الساعة (٤٨٣ إلى ٨٠٥كم/ ساعة) يمكن أن تفي بالغرض لهذا النوع الجديد من المركبات مع أنه يعتقد أن بعضها يستطيع تحقيق سرعة ١٠٠٠ ميل في الساعة (١٦٠٩كم/ ساعة). ومثل

هذه السرعات من شأنها أن تمكن الفرد من أن يصرف يوما واحدا، فقط، في السفر إلى مدينة رئيسية في رحلة عمل ثم العودة منها في اليوم نفسه.(١)

(ب) سهولة الوصول: بالنسبة للنقل داخل المدن، تعد مرونة الطريق أكثر أهمية من عامل السرعة. فالوصول إلى الضواحي الجديدة للمدن سيكون أمرا ضرورياً. ولذلك، فإن أفضل أنواع النقل هو إما باستعمال عدد من وسائط النقل المختلفة في الرحلة الواحدة وإما باستخدام سيارة اقتصادية في استهلاك الطاقة ولا تضر بالبيئة أو كليهما.

(جـ) الاستخدام المكثف للأرض: وهناك طريقة تختلف تماما عمّا ما ذكر وتعتمد على نوع الاستخدام المقصود للأرض. فالمناطق العمرانية ذات الوحدات المنتشرة تتطلب تصميم مركبات للاستخدام الفردي. بينما يتميز الاستخدام المكثف للأرض، أي باستعمال وحدات سكنية متعددة الطوابق تتركز في مساحات صغيرة وتخدمها مصاعد إلكترونية ذات سرعات عالية، بإمكانية توفير خدمة نقل جيدة له بنظام نقل عام أو جماعي.

(د) بدائل النقل: ربما تجمع التطورات المستقبلية بين الاستعمال المكثف للأرض مع الاعتماد اعتماداً أكبر على بدائل للنقل. ويعد الرائي (التلفاز) مثالا لذلك. فالرائي يجمع بين الترفيه بشتى أنواعه والفرص التعليمية. وأي تقدم إضافي في تطوير أجهزة الاتصال لنقل الرسائل المكتوبة أو المرئية قد يقلل كثيرا من الرحلات الشخصية أو رحلات التسوق. فعرض السلع المتوافرة في متجر على شاشة التلفاز قد يغني الفرد عن الذهاب إلى المتجر لاختيار السلع. واحتمالات الجمع بين المساكن وفرص العمل والتسوق والترفيه والتعليم في مبنى واحد أمر ممكن وقد تمت تجربته فعلا كما في عمارة هانكوك في شيكاغو، مثلا. كما أن من ضمن البدائل الأخرى لمشكلات النقل وتكاليفه إنشاء المدن الصغيرة المكتفية ذاتيا وكذلك الأحياء السكنية المكتفية ذاتيا داخل المدن الكبيرة. وهناك ابتكارات أخرى كثيرة تعتمد على استخدام الأرض بما يقلل من ضرورة الانتقال والسفر.

التحسينـــات على المـــدى القصير
SHORT-TERM IMPROVEMENTS

لقد سبق وذكرنا ضرورة الاعتماد الكلي، تقريبا، على وسائل النقل التقليدية خلال السنوات الخمس إلى العشر القادمة. وتشمل هذه الوسائل تقنية حركة العجلات المشفّهة على قضبان حديدية (القطارات) والسيارات

(١) *Research and Development of High Speed Ground Transportation*, Report of the Panel on HSGT for the Commerce Technical Advisory Board, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., March 1967, p.10.

والحافلات والشاحنات والطائرات. ولن تتغير القواعد الأساسية لهذه الأنواع من وسائل النقل ولا أشكالها كثيرا. إلا أنه تُجرى عليها باستمرار، تحسينات لإعطائها فعالية أكثر في الأداء.

المشـي Walking. على الرغم من أن المشي يُعَدّ أحد الحلول الجاهزة والمتوافرة لمشكلات النقل الحضري إلا أنه غالبا ما يهمل. ويمكن تشجيع المشي عن طريق إنشاء ممرات خاصة للمشاة، فقط، داخل الأحياء التجارية وفي مناطق الأنشطة الأخرى، وعن طريق تجميع المحلات والأنشطة التجارية في أماكن متقاربة كما هو الحال في مراكز التسوق، وعن طريق توفير معابر علوية أو سفلية للعبور الآمن للشوارع المزدحمة، وعن طريق تغطية ممرات المشاة لحمايتهم من الظروف الجوية وغيرها. وفي بعض الحالات، يمكن دعم المشي وتشجيعه عن طريق إدخال الأرصفة الجانبية المتحركة. كما أن تشجير طرق المشاه وتزيينها يعدان حافزا إضافيا للمشي.

الدراجات الهوائيـة Bicycles. إن زيادة الاعتماد على الدراجات كوسيلة نقل رخيصة ومريحة للمسافات التي تتراوح بين ميل و ثلاثة أميال سيساعد بلا شك في حل الاختناقات المرورية كما يساعد على المحافظة على الصحة العامة باعتبار أن الدراجات وسيلة من وسائل الرياضة. غير أن العائق الرئيسي لاستخدام الدراجات هو عدم وجود ممرات آمنة ومناسبة خاصة بالدراجات التي تتيح لراكب الدراجة الوصول المباشر إلى الجهة التي يقصدها دون أن يتعرض لأخطار المرور في الشوارع التي تزدحم بالسيارات ودون أن يعرض أرواح المشاة على الأرصفة إلى الخطر. وفي بعض الأماكن، مثل الأحياء الجامعية والشوارع، أنشئت طرق خاصة لهذا النوع من النقل حيث منعت السيارات من استخدام هذه الطرق أو، في الأقل، أجبرت على تخفيض سرعتها واتخاذ الحيطة من راكبي الدراجات. وبالطبع، فإن مثل هذه الطرق لا تقي راكبي الدراجات من الظروف الجوية السيئة مما يزيد من إعاقة استعمال هذا النوع من أنواع النقل.

تحسين السكك الحديدية Rail Improvements. إن مشكلة السكك الحديدية كوسيلة نقل للأفراد لم يطرأ عليها تطور تقني يستعيد السمعة التي تميزت بها قبل الحرب العالمية الثانية من حيث السرعة والراحة والاعتمادية. ولكي تستعيد هذه الوسيلة سمعتها، فإن الأمر يتطلب استخدام معدات جيدة الصيانة وطرقاً حديدية ممتازة بالإضافة إلى وجود رغبة لدى جميع الجهات المعنية بإعطاء الأولوية عند التشغيل لقطارات الركاب. فمثلا، بدأت مؤسسة السكك الحديدية الأمريكية آمتراك (Amtrack) التي بدأت عملياتها بمعدات قديمة ومستهلكة تم شراؤها قبل عقدين أو ثلاثة بتحديث أسطولها من العربات والقاطرات الحديثة، كما أسندت إليها مسؤولية تشغيل قطارات الضواحي الكهربائية الفخمة في الجزء الشمالي الشرقي من أمريكا والتي صممت لتعمل بسرعة تتراوح بين١٢٥ و ١٦٥ ميلاً/ ساعة (٢٠١ إلى ٢٦٦كم/ ساعة). إن نظام قطارات النقل العام السريع في منطقة خليج سان فرانسيسكو بأمريكا يجمع بين عديد من المميزات التي تجعل خدمة قطارات الضواحي جذابة. فهذه القطارات تتميز بالتحكم الآلي في حركتها، وانخفاض مستوى الضوضاء، والسرعة العالية (تصل إلى ٨٠ ميلاً في الساعة) وتشتمل على نظام آلي لبيع التذاكر وعلامات إلكترونية للمحطات وديكور ومقاعد مريحة.

وبالنسبة للنقل العام السريع التقليدي، فإن إنشاء الأنفاق العريضة ذات الأرصفة الواسعة مكن من إدخال نظام العربات الكبيرة بطول يتراوح بين ٦٠ و ٨٠ قدما (١٨,٣ إلى ٢٢,٩ متر) التي تنقل أعدادا كبيرة من الركاب. كما أن المحركات بقوة ١١٥ حصاناً (مقارنة بالمحركات القديمة بقدرة ١٠٠ حصان) تسمح بتسارع أكبر وسرعات أعلى. كما أن التطبيق الجديد للمبدأ القديم القائم على تخزين الطاقة في الحدّافة أثناء استعمال المكبح والتباطؤ يسمح باستخدام تلك الطاقة للتسارع والجرّ والاقتصاد في الوقود.

إن السكك الحديدية الخفيفة التي تتميز بقلة تكاليف إنشائها وتشغيلها وارتفاع سعتها والتي يتم تحديثها لتوفير راحة أكثر وسرعات أعلى توفر حلولا لمشكلات النقل في المدن الصغيرة (التي يقل سكانها عن ٥٠٠٠٠٠ نسمة) والتي لا تحتمل إنشاء نظام نقل عام سريع متكامل. وتستطيع العربات التي تسير على سكة واحدة أن تنقل عدداً يتراوح بين ١٠٠٠٠ و ١٢٠٠٠ راكب في الساعة ويمكن أن تشكل قطارات مكونة من عربتين أو ثلاثة، فهذه الوسيلة مريحة وتتميز بالهدوء. ولكن الاعتراض الرئيسي على هذا النوع من وسائط النقل أنه يتداخل مع حركة المرور في الشارع التي قد تعيق حركته، ويمكن حل هذه المشكلة باستخدام طريق خاص مستقل بها. ويمكن أن تحدد أماكن وطرق لأنظمة النقل هذه لكي تطّور مستقبلا إلى أنظمة النقل العام السريع عندما يكون حجم الطلب مجديا.

ولقد برهنت الدراسات الحديثة على الجدوى الاقتصادية لكهربة السكك الحديدية في أماكن أخرى خلاف الأماكن الجبلية والممرات التي تتميز بكثافة المسافرين العالية عليها. إن كهربة بعض الخطوط الحديدية المختارة بين المدن أمر محتمل في المستقبل القريب خاصة عند ازدياد النقص في الوقود السائل وازدياد المطالبة بتقليل تلوث الهواء.

كما أن هناك احتمال الرجوع إلى نظام التشغيل الجيد والصيانة الجيدة للمعدات والسكك الحديدية كما كان متبعا في العقود الماضية، أيضاً. فالتوسع في استعمال اللحام في توصيل قضبان السكة الحديدية يضيف راحة للراكب وعمرا للقضيب والعوارض واقتصادا في الصيانة. وتوفر العوارض الخرسانية بديلا للعوارض الخشبية التي يتضاءل توفر خشبها. كما أن مسألة تمويل المشاريع للرجوع إلى مستويات السلامة والجودة التي وضعها مكتب السلامة بإدارة السكك الحديدية الاتحادية الأمريكية للسرعات التشغيلية العالية تلقى اهتماما من الدوائر الحكومية المختصة في الولايات المتحدة.

أما في مجال نقل البضائع، فإن تشغيل القطارات الطويلة ذات السعات العالية أصبحت، بالفعل، شائعة الاستعمال كما أن التوسع في استعمالها مستقبلا أمر محتمل. فقد بدئ بالفعل في إجراء البحوث في ديناميكا السكة والقطارات وقد أظهرت هذه البحوث نتائج واعدة حتى الآن بإمكانية التحسن السريع في سلامة تلك العمليات وكفاءتها. وإن التمييز الآلي للعربات والتحكم بحركتها باستخدام الحاسوب سواء كانت هذه العربات محملة أو فارغة يزيد كفاءة استخدام هذه العربات. كما أن أنظمة العمل المعدلة تسمح باستخدام طاقم تشغيل أقل للقطارات واستعمال قطارات أقصر طولا بتقاطر أو تردد أكبر. كما أن نظام التصنيف الآلي للساحات وتحسين نظام الجدولة يزيد سرعة الحركة بين المحطات. وقد خصصت الدراسات التي أجرتها مصلحتا السكك الحديدية

الاتحادية واتحاد السكك الحديدية الأمريكي لزيادة كفاءة المحطات المكتظة وتقليل الاختناقات والتأخير فيها، كما في محطة مدينة سانت لويس، مثلا.

ويتم التنسيق بين النقل على الطرق والنقل بالسكك الحديدية عن طريق استخدام نظام نقل المقطورات على العربات الحديدية المسطحة، كما يمكن، باستخدام نظام الحاويات، توفير خدمة النقل المحلي والنقل السريع عن طريق النقل البري والنقل الجوي. وتنقل القطارات التي تحمل السيارات المسافرين وسياراتهم إلى المحطات التي يقصدونها.

الطرق Highways. يعدّ ارتفاع معدلات الحوادث على الطرق من أهم المآخذ على استعمال السيارات وسيلة نقل. وقد قل التشديد على الاستخدام الإجباري لأحزمة الأمان بسبب عدم تقبل الناس لها وعدم شعورهم بالراحة أثناء استخدامها. كما اقترُح استخدام الكيس الهوائي الذي ينتفخ عند الاصطدام لتقليل الإصابات من أثر الصدمة إلا أن اعتراض الناس، أيضا، على إجبارية استخدامها قد يحد من انتشارها. وهناك أمل في أن يعاد استعمال التصميم المرن للمصدّات في السيارات. وتتطلب السلامة خلو صناعة السيارات من الخلل ومتانة أجزائها ووجود أدوات داخل السيارة للحماية وللتخفيف من آثار الصدمة في حالة الحوادث المرورية.

كما أن هناك مشكلة تلوث الهواء التي تحدثها السيارات والشاحنات. وللحد من ذلك، يستخدم جهاز تحويل وسيط في جميع السيارات اعتبارا من عام ١٩٧٨م يساعد على تخفيف التلوث. إلا أنه برزت تساؤلات عن مدى فعالية هذه الوسائل واحتمالات مشاركتها في تلويث الهواء بطريقة أخرى لإصدارها أبخرة حامض الكبريتيك.

وقد انتشر استخدام النوع الدوّار من محركات الاحتراق الداخلي على مستوى تجاري. وهناك احتمال لنزول محركات منافسة إلى السوق تعمل على أساس تزويدها بالطاقة الحرارية التي تزود بها من مصدر خارجي. وربما يستخدم أحد هذه الأنواع غاز الهيدروجين إذ يسخن الغاز بوساطة غلاية تستخدم أي نوع من أنواع الوقود. ومن فوائد هذه الطريقة أنها أقل استهلاكا للوقود وأكثر هدوءا وأقل تلويثا للهواء.

ويتم تحري إمكانية استغلال الطاقة الكهربائية، في الأقل، للسيارات الصغيرة التي تنتقل لمسافات قصيرة داخل المدن. كما اقترح استخدام بطارية تستخدم كلوريد الزنك مصدراً للطاقة. واستعمال السيارات الكهربائية الصغيرة لا يزال محدودا اليوم وهذه السيارات تعمل ببطاريات تحتاج إلى شحن كل ٥٠ إلى ١٥٠ ميلاً (٨٠,٥ إلى ٢٤١كم) وتسير بسرعة ٣٠ إلى ٥٤ ميلاً في الساعة (٤٨,٣ إلى ٨٦,٩كم/ ساعة).

ويبدو أن هناك توجها قويا في الولايات المتحدة نحو استخدام السيارات الصغيرة التي تستهلك طاقة أقل، وهذا التوجه موجود في أوروبا منذ وقت طويل.

وهناك تفكير في إدخال نظام الحافلات الكهربائية (الترولي) التي تدفع بالطاقة الكهربائية وتسير في شوارع المدن، مثل غيرها من المركبات، على إطارات مطاطية ولكنها تستمد الطاقة الكهربائية من أسلاك علوية ممتدة على طول مسارها. كما يقترح أيضا استخدام الحدّافات لتخزين الطاقة المفقودة، كما ذكرنا سابقا، في هذه الحافلات الكهربائية.

ومن التطورات الجديدة، أيضا، استخدام الحافلات المفصلية المترابطة القادرة على تحريك جزئيها بحمولة تتجاوز ١٠٠ راكب عند المنعطفات الحادة في شوارع المدن.

كما أنه يمكن توقع استخدام أنظمة التحكم المروري بالحاسوب للحصول على أقصى تدفق مروري ممكن. وأحيانا يتم التحكم بالدخول إلى الطرق السريعة باستخدام الإشارات الضوئية وأجهزة الاستشعار في المداخل والتي تدعم في بعض الأحيان بدوائر تلفزيونية مغلقة. وسيعمل إنجاز نظام الطرق الطويلة السريعة بين المدن على المستوى الوطني وتشييد وصلات تربطها بالطرق المحلية على زيادة السرعة والسلامة وسهولة الوصول إلى هذه الطرق المحلية والمدن التي تخدمها نظرا لجودة تصميم تلك الطرق السريعة.

أما داخل المدن فإن تخصيص حارة في الطريق للحركة السريعة بحيث تسير عليها الحافلات والسيارات المحملة بالركاب من شأنه تخفيف العبء على بقية حارات الطريق. وقد ركبت أجهزة استشعار للحافلات عند تقاطعات الطرق المزودة بإشارات ضوئية لإعطاء أولوية المرور للحافلات وذلك كتجربة أولية. ويساعد استخدام الحافلات الصغيرة في المناطق المرورية المزدحمة على تحقيق اقتصادية الخدمة ومرونتها. كما أن توافر أساطيل السيارات الصغيرة الحجم والمعدّة للإيجار بحيث يستلمها المستأجر في موقع ويعيدها في موقع آخر يمكن أن يكون أحد الأساليب الممكنة داخل المدن.

وهناك ما يسمى بالحارات العكسية حيث تخصص حارة من طريق متعدد الحارات لحركة الحافلات في اتجاه معاكس لاتجاه الحركة العادية لهذه الحارة. ويمكن تغيير اتجاه حركة الحافلات من اتجاه لآخر لخدمة الحركة في فترات الذروة الصباحية والمسائية. وهذا الإجراء يعمل على زيادة السرعة في الطريق وسعتها.

وسُتناقش أنواع التحكم الآلي بالطرق في الفصل العاشر. ومن الاختراعات المهمة والمبتكرة مفهوم الطريق الآلي حيث تزود المركبات بجهازي استشعار يستجيبان لإشارات كهربائية بشدّة أو تردد معين تنقل إليهما بوساطة سلك يمتد على طول الجزء الأوسط من الحارة في الطريق. فإذا مالت المركبة للانحراف عن المسار الصحيح فإن شدة الإشارة داخل أحد الجهازين أو كليهما تتغير ثم يتم تعديل وضع المركبة تلقائياوالعودة بها إلى النقطة التي تتساوى فيها شدة الإشارة الكهربائية المستلمة. وسوف يعمل هذا النظام آليا دون تدخل يدوي في الطرق التي تجهز بهذا النظام. ويشتمل هذا النظام كذلك على نقل للإشارات على شكل نبضات كهربائية عبر السلك عند الحاجة لاستعمال المكابح أو زيادة السرعة أو تخفيفها. ويشتمل الطريق الآلي على تجهيزات لدخول السيارات إلى الطريق وخروجها منه وللكبح والمحافظة على المسافة البينية بين المركبات، ولكن هذه الجوانب من النظام لازالت تحتاج إلى مزيد من التنقيح.

الطرق الجوية Airways. يبدو أن تطوير الطائرات قد بدأ يواجه مصاعب اقتصادية. فطائرة البوينج ٧٤٧ والطائرات المماثلة قد تطورت إلى السعة الاقتصادية المثلى، فهناك صعوبة في إشغال عدد كاف من المقاعد للتعويض عن التكاليف العالية لهذا النوع من الطائرات الكبيرة الحجم، كما أن هناك مسائل تتعلق بالمطارات مازالت تحتاج إلى حلول من حيث الكفاءة في إنهاء إجراءات الأعداد الكبيرة من المسافرين والأمتعة التي تنشأ عن استخدام هذا النوع من الطائرات الكبيرة الحجم والسعة.

وليس من المحتمل أن تحدث في الوقت الحاضر زيادة كبيرة في السرعة الحالية للطائرات التجارية التي تبلغ تقريبا ٦٠٠ ميل في الساعة (٩٦٥كم/ ساعة)، إذ تفي هذه السرعة بمتطلبات جداول الحركة الحالية. كما تتسبب السرعات الأعلى بزياد كبيرة في استهلاك الطاقة. وقد واجهت الطائرات التي تفوق سرعتها سرعة الصوت معارضة بسبب الآثار السلبية التي تحدثها على البيئة. وعلى كل، فإن الآثار الاقتصادية العكسية لهذه الطائرات ومحدودية السوق التجارية لها ولخدماتها هي التي أعاقت قبولها وتطويرها وربما إلى سنوات عديدة قادمة.

وليست هناك أسباب تقنية تمنع المزيد من استخدام الطائرات العامودية (الهليكوبتر) كخدمة مغذيّة لحركة الطيران الأساسية وللوصول إلى المواقع التي تتميز بمحدودية توافر مهابط للطائرات العادية فيها. كما أن الطائرات الأخرى التي تستطيع الإقلاع والهبوط هبوطاً رأسياً تستطيع، أيضا، خدمة المواقع المحدودة المساحة الأرضية إلا أن مثل هذا النوع من الطائرات لم تَفِ بعد بالمتطلبات الاقتصادية. ويشكل كل من هذين النوعين من الطائرات مشكلة عند استخدامه في المناطق المأهوَلة من حيث الضوضاء والتلوث.

إن أكثر التطورات التي يمكن أن تشهدها أنظمة النقل الجوي للركاب هي تلك التي يمكن أن تحدث على الأرض عن طريق استغلال التقنية المتاحة لزيادة السعة والوصول السريع للمطارات وزيادة سرعة الحركة والراحة عند الحركة في المطارات من الطائرات وإليها. ومن الوسائل التي يمكن أن تساعد في تحقيق هذا الهدف هو تحسين مخططات مباني المطارات واستخدام الأرصفة المتحركة وتوفير خدمات للنقل داخل الصالات بين المباني وبوابات المغادرة وتحسين وسائل مناولة العفش. ومدّ خدمة النقل العام السريع إلى المطار. كما أن التوسع في استخدام أنظمة الهبوط الآلية في حركة هبوط الطائرات سيساعد في توفير السلامة والاعتمادية.

وتستطيع الحوامات البرمائية المسماة هوفر كرافت الانتقال فوق البر أو فوق الماء بدون الحاجة لوجود طريق ممهد لها، وهي نظام نقل مدعوم بوسادة هوائية وتأتي في مرتبة متوسطة بين الطائرة والسفينة. وتوفر حوّامة الهوفركرافت خدمة مجدولة لنقل ٢٠٠ راكب و٧٥ سيارة بسرعة تتراوح بين ٦٠ و٨٠ ميلا/ ساعة (٩٦,٥ إلى ١٢٨,٧كم/ ساعة) عبر القنال الإنجليزي وعبر المياه الضحلة في غرب إنجلترا وويلز البريطانية.

الأسطح الانسيابية المائية Hydrofoils. يتشابه النوع الثاني من نوعي معدات التأثير الأرضية مع تصميم حوامة الهوفركرافت من حيث إن دعم المركبة يتم بوساطة وسادة من الهواء المضغوط المحجوز داخل المركبة. أما النوع الآخر فيدعم بوساطة الرفع الهوائي الديناميكي عند حركة المركبة بمعدل عال من السرعة. ويمكن زيادة قوة الرفع بوساطة وسادة هوائية تنشأ من مراوح للرفع وتقيّد داخل جسم المركب ثنائي الهيكل. ويستخدم أحد التصميمات لسطح انسيابي نفاث يجري اختباره للاستعمال التجاري أسطحا نسيابية مغمورة تماما في الماء. وعند ازدياد سرعة المركب، يرتفع فوق الماء تدريجيا حتى يرتفع جسم المركب بأكمله عن الماء بالطريقة نفسها التي ترتفع بها الطائرة عن الأرض عند الإقلاع. وتساعد الأسطح الانسيابية المغمورة على زيادة قوة الدعم. ويمكن استخدام أنواع مختلفة من الدفع. فمثلا، يمتاز السطح الانسيابي النفاث بحمولة ١٠٠ طن، وجرى اختباره عند سرعة ٨٥ ميلاً/ ساعة بوجود نفاث مائي للدفع يعمل بوساطة توربين غازي يدير منظومة من المضخات. وقد جرى الاهتمام بإمكانية تطبيق قواعد الرفع الهوائي الديناميكية على حركة السفن بحمولة ٢٠٠ طن عند سرعة ١٠٠ عقدة بحرية.

الاختراعات للسرعـة البطيئـة
SLOW SPEED INNOVATIONS

يمكن تصنيف الأفكار المبتكرة لأنظمة النقل على المدى البعيد إلى مجموعتين هما السرعة والتسلسل الهرمي للمساحة التي تغطيها خدمة وسيلة النقل. وعادة ما تكون أنظمة النقل البطيئة أكثر مرونة في تشعّب مساراتها وطرقها وتتجاوب مع مختلف أنماط استعمالات الأراضي وكثافاتها. وتستعمل هذه الأنظمة للرحلات التي تتراوح بين ميل واحد و عشرة أميال.

نظام نقل عام سريع فردى Personalized Rapid Transit (PRT). يمتاز نظام النقل العام السريع الفردي على مختلف مستويات سرعته وسعته بملاءمته لخدمة المناطق النشطة كما في وسط المدينة والمطارات والجامعات ومراكز البحوث والتطوير ومراكز التسويق أو لسد احتياجات التنقل في أي مجمع مركزي. أما النماذج الكبيرة من هذا النظام فيمكن أن تخدم المدن الصغيرة أو المناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة.

ولقد طور عديد من التصورات والأفكار لتوفير نظام نقل فردي. وتتركز هذه التصورات، عادة، على المركبات الصغيرة التي تسير على إطارات من المطاط وتتسع لعدد يتراوح بين أربعة و ستة ركاب وتتحرك في مسار ثابت. كما أن أنظمة مماثلة لهذه تتسع لـ ٣٠ راكبا سيتم بحثها هنا. ونظرا لصغر سعة مثل هذا النوع من المركبات، فإن تشغيلها بوساطة السائق يصبح غير مجد من الناحية الاقتصادية، لذلك، يتم التحكم بتشغيلها آليا عن طريق الحاسوب.

أما المسارات الثابتة فيمكن أن تكون من السكك الحديدية أو، على الأرجح، من القنوات الخرسانية التي يتوسطها قضيب للإرشاد، وقد يكون الإرشاد على جانب القناة. أما الدعم فيمكن أن يتم عن طريق العجلات الحديدية التي تسير على القضبان أو إطارات مطاطية تسير على مساند خرسانية (كما في تصميم النظام التجريبي في مدينة مورغن تاون بولاية غرب فرجينيا، وفي نظام مطار دالاس فورت وورث بأمريكا)، أو عن طريق الوسادات الهوائية أو الرافعات المغناطيسية. ومن مزايا نظام النقل العام السريع الفردي أن له حرماً لمساره على شكل حلقة مغلقة، أما في المناطق الحضرية فله شبكة من الخطوط بمسافات بينية بينها تتراوح بين ميل و ميلين (١,٦١ إلى ٣٢,٢كم) وتكون مخصصة لخدمة جميع المناطق الحضرية ما عدا الضواحي. وتقع محطات نظام النقل هذا، عادة، خارج المسارات الرئيسية وتكون متقاربة بحيث تكون هناك مركبات فارغة متوافرة عند كل محطة. ويكون التحكم بحركة هذه المركبات آليا عن طريق حاسوب مركزي. أما للمركبات التي تسير في حلقة مغلقة، فإنها تدور داخل هذه الحلقة مع وقوفها عند كل محطة (كما هو الحال في المطارات). أما شبكات المدن فتسير المركبة فيها حسب الاتجاه الذي يحدده الراكب عند صعوده لها. ويتم نقل الراكب لذلك المكان بسرعات مقترحة مختلفة تتراوح بين ١٠ و٦٠ ميلاً في الساعة (١,١٦ إلى ٩٦,٥كم/ ساعة) بدون توقف. وربما تكون السرعات المنخفضة هي الأكثر احتمالا واستعمالا.

وهناك نوع آخر لهذا النظام ثنائي وسيلة النقل يتيح للراكب أن يُنقل آليا على الخط إلى أية نقطة دخول وخروج يمكن له منها أن يتحكم بالمركبة ويقودها من المسار الخاص بنظام النقل السريع الفردي إلى شوارع المدينة المختلفة ومن ثم، إلى المكان الذي يقصده. وتعاد المركبة إلى نظام النقل السريع الفردي في رحلة أخرى ابتداء من تلك النقطة وتترك عند أي محطة ليستخدمها راكب آخر.

و هناك نظام آخر من الأنظمة الثنائية كذلك يستخدم مركبة تسير على إطارات مطاطية خفيفة تجرها قاطرات على مسار يُشغّل آليا. وفي نقاط محددة، تنفصل المركبات الفردية عن القاطرة وتقاد على الشوارع المحلية لتقدم خدمة متكاملة من الباب إلى الباب تقريبا. كما أن هناك نظاماً آخر مكوناً من حافلات تسير على إطارات مطاطية ومثبت في أسفلها عجلات مشفهة قابلة للارتفاع والنزول، وبذلك، يمكن لهذه المركبة السير على كل من السكك الحديدية والرصفيات. كما أن هناك فكرة أكثر براعة تتلخص في تعليق المركبات التقليدية في سلك هوائي علوي عن طريق توصيله بسقف المركبة. وفي نظام آخر، تزود المركبة بالطاقة عن طريق بطارية داخل المركبة يمكن شحنها من التيار الكهربائي بالمنزل. ويتم إرشاد حركة المركبة باستخدام عجلات داخلية مشفهة عندما تسير في المسار الخاص بها، أما عندما تسير في شوارع المدينة متجهة إلى وجهتها النهائية فإنها تستخدم الإطارات المطاطية الخارجية المألوفة.

كما يوجد عديد من أنواع نظم النقل العام السريع الفردي التي تجري تجربتها واختبارها حاليا. فمثلا، يستخدم نظام النقل العام السريع الفردي في مدينة مورغن تاون بولاية غرب فرجينيا الأمريكية مركبات لها إطارات مطاطية تتسع المركبة الواحدة لثمانية ركاب (و١٣ راكباً واقفاً) وتصل سرعتها القصوى إلى ٣٠ ميلاً / ساعة (٤٨,٣ كم/ ساعة). ويدعم المسار الذي على شكل قناة محمولة على أعمدة خرسانية بهياكل فولاذية في الجزء العلوي منه. وتحتوي المركبة على عدة أزرار لتحديد المكان الذي يريده الراكب عن طريق ضغط الزر المرغوب فيه. أما إرشاد المركبة وتوجيها فيأتي من العجلات المرتكزة جانبيا على ألواح مثبتة على جدران قناة الطريق. ويقوم محرك كهربائي بتيار مباشر قدرته ٦٠ حصانا بوظيفة الدفع، ويتم تحويل التيار المتردد إلى تيار مباشر عن طريق محول محمول داخل المركبة. ويُحصّل على التيار المتردد من موصلات مثبتة على جانبي المركبة. وجسم السيارة مصنوع من الألياف الزجاجية ولكن هيكل المركبة والشاسيه مثبتان باستخدام الأجزاء نفسها للسيارات العادية. ويتوقع أن تصل المركبة خلال دقيقتين من بداية ضغط الراكب على زر الاختيار. غير أن إنجاز هذا النظام التجريبي واجه بعض الصعوبات بسبب ارتفاع تكاليفه التي كانت أعلى مما كان متوقعا بكثير.

وهناك نظام آخر يطلق عليه اسم إيرترانس (Airtrans) وهو شبيه في عديد من جوانبه بنظام مورغن تاون. وهو الآن يستخدم في مطار دالاس فورت ورث بأمريكا. وسعة هذا النظام ١٦ راكبا (و٢٤ راكباً واقفاً) وتستخدم فيه الطاقة الكهربائية ويتم توجيهه من عجلات ترتكز جانبيا على قضبان مثبتة على جانبي المسار الخاص به الذي يأخذ شكل القناة.

ويستخدم نظام الحافلات الهوائية عجلات من الإطارات المطاطية تدار بالطاقة الكهربائية وتسير على وسائد خرسانية طويلة موضوعة فوق حاملة من الفولاذ. وترتكز عجلات التوجيه المعلقة عرضيا على قضيب في المنتصف

للتوجيه والإرشاد.[٢] ويدعم الطريق الخرساني وقضيب التوجيه بكمرات فولاذية، أما العناصر الطولية والعرضية الأخرى فتُدعم بألواح خرسانية مستطيلة ملحومة مع بعضها على شكل أعمدة صندوقية موضوعة على أبعاد تتراوح بين ٥٠ و٦٠ قدما (١٥,٢ إلى ١٨,٣ متر). ويتم التحكم بحركة جميع مركبات النظام آليا عن طريق الحاسوب ولا يوجد سائقون في المركبات. ومن المقترح أن تسير المركبات بسرعة ٥٠ ميلا في الساعة (٨٠,٥كم/ساعة) إلا أن سرعة ٣٠ ميلا في الساعة (٤٨,٣كم/ ساعة) قد تكون أكثر واقعية. وتبلغ سعة المركبة ٢٨ مقعدا والسعة الكلية، بما في ذلك الواقفون، ٧٠ شخصا. ويبلغ الوزن للمقعد الواحد ٣١٦ كيلوجراما (٦٩٦ رطلا) وللشخص الواحد ١٢٦ كيلوجراما (٢٧٩رطلا). إلا أن مشكلة التحويل من خط إلى خط لم تحل عمليا حتى الآن. ويشغّل هذا النظام حاليا في مطارات ميامي وسياتل وقد اقترُح استعماله وتعميمه في مدينة بتسبرج في أمريكا.

ويؤمن نظام النقل العام السريع الفردي سعات تتراوح بين ١٠٠٠ و١٠٠٠٠ شخص في الساعة. وقد ذكر أن تكاليف المسار الخاص به والمعدات منخفضة لدرجة أنها تجعل استخدام هذه الأنظمة في المدن الصغيرة والممرات ذات الكثافة المرورية المتوسطة والخفيفة جذابا. وقد قطع النظام شوطا لا بأس به من التطوير التقني إلا أن اقتصادياته لا تزال موضوع جدل وبحث.

حافلات تُطلب هاتفيا Dial-A-Bus. يعد نظام الحافلات التي تستجيب للطلب على الهاتف نظاما وسطا بين الأنظمة التقليدية والأنظمة المبتكرة كليا. ويمكن أن يشمل هذا النظام، أيضا، مركبات الأجرة والحافلات الصغيرة والليموزين المألوفة. والميزة المبتكرة في هذا النظام هو القدرة على تقديم خدمة النقل من الباب إلى الباب باستخدام نظام اتصالات ومراقبة يستطيع الربط بين طلبات الخدمة المراد تقديمها مع أقرب مركبة للخدمة وتوجيه تلك المركبة للاستجابة لذلك الطلب. ويُحقّق الاختيار الأمثل للمركبة التي توجه لخدمة الطلب على أساس موقع طالب الخدمة واتجاه حركة الحافلة والجهة التي يقصدها طالب الخدمة وعدد الركاب الموجودين داخل المركبة ووجهتهم، وذلك عن طريق التحكم والمراقبة بوساطة جهاز الحاسوب. ويمكن ضبط مواعيد وصول هذه الحافلات المحلية الخدمة إلى محطات الحافلات للخدمة السريعة أو العادية ليكمل الراكب من هناك رحلته الطويلة. وهذا النظام أكثر ملاءمة في الأماكن ذات الكثافة السكانية المنخفضة حيث يتوقع أن يحقق كفاءة عالية عند توافر طلب قدره ١٠٠ رحلة للميل المربع الواحد في الساعة. وهناك عديد من أنظمة الحافلات التي تطلب هاتفيا في طور التشغيل الفعلي حاليا.

نظام مناولة البضائع Freight Handling System. من المتوقع أن يستمر استخدام الشاحنات الآلية في عمليات توزيع البضائع داخل المدن في المستقبل المنظور. ومن الحلول المحتملة لذلك تسيير هذه الشاحنات في أنفاق تحت الأرض

---

(٢) *"Transit Expressway Concept and Accomplishments,"* Westinghouse Electric Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania, 1 April 1967, pp. 16-17.

مما يتطلب تغييرات ليس، فقط، في مخططات الطرق بل، أيضا، في إنشاءات المباني لإتاحة إمكانية الوصول إلى غرف التفريغ وأرصفتها والتحميل تحت الأرض.

ويوفر استعمال أنظمة الحاويات والمقطورات المحمولة فوق عربات مسطحة مرونة كبيرة في اختيار مواقع الصناعات الخفيفة والمؤسسات التجارية. ويعمل وجود الطرق والشوارع، بالإضافة إلى توافر مزايا النقل للمسافات الطويلة بالسكك الحديدية، على تحقيق إمكانية الوصول إلى أي منطقة من المدينة بسهولة أكثر.

أنظمة النقل السريعة
HIGH SPEED SYSTEMS

يقصد بأنظمة النقل الأرضية السريعة جدا تلك التي تصل سرعاتها إلى ٣٠٠ ميل/ ساعة (٤٨٣كم/ ساعة). كما تقتصر التسمية على تلك الخاصة بحركة الركاب فقط. إذ تعتمد السرعة في حركة البضائع اعتماداً أكثر على تقليل المدة التي تقضيها البضائع في المحطة أكثر من اعتمادها على زيادة السرعة على الطريق. ومن الواضح عدم وجود خط فاصل واضح لتقسيمات السرعة المختلفة. وتواجه أنظمة النقل عالية السرعة صعوبات مختلفة، بعضها يتعلق بالجانب البشري والآخر تقني. وتتفاوت درجة تعقيد تلك المشكلات مع تفاوت طبيعة الحلول المقترحة لها.

الموقع Location. من المزايا الأساسية والمهمة لمسار النقل السريع موقعه بالنسبة لسطح الأرض. ولأسباب واضحة تتعلق بالسلامة، فإن وضع مسار نظام النقل السريع على مستوى سطح الأرض يعد قرارا غير حكيم. إذ يجب خلو موقع المسار من التقاطعات. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الأراضي الفارغة في المناطق الآهلة بالسكان التي عادة ما ينشأ فيها مثل نظام النقل هذا غالبا ما تكون نادرة وباهظة الثمن. كما أن وضع المسار على إنشاءات مرتفعة فوق سطح الأرض يحتاج، أيضا، مساحات أرضية كبيرة إلى جانب أنها قد تكون مصدرا لتوزيع الضجيج على مساحات أكبر. لذلك، فإنه عادة ما يستخدم نظام الأنفاق الأرضية لأنظمة النقل السريعة جدا. ولكن مثل هذه المواقع مشكلات عديدة.

المشكلات البشرية Human Problems. تشكل السرعة العالية بيئة صعبة للإنسان خصوصا إن كانت تتم في مواقع تحت الأرض، فهناك بعض الموضوعات المحددة للصعوبات والمشكلات التي يجب أخذها في الاعتبار.[٣]

(أ) **معدلات التسارع والتباطؤ.** يجب الحد من معدلات التسارع والتباطؤ لتتناسب مع درجة التحمل البشري، وفي الوقت نفسه، يجب زيادة تلك المعدلات لأقصى قدر ممكن للتقليل من التأخير الناتج عنها

---

(٣) *High Speed Rail Systems,* report by TRW Systems Transportation for Office of High Speed Ground Transportation, U.S. Department of Transportation, contract No. 353-66, Washington, D.C., February 1970, pp. 5.4-1 to 5.4-26.

عند تقليل السرعة من أجل التوقف عند المحطات . ويتعرض رواد الفضاء المدربون جيدا الذين يرتدون ملابس مضغوطة وهم مربوطون إلى مقاعد هزازة ومبطنة إلى قوى تسارعية تصل إلى عدة أضعاف وحدة قوة الجاذبية (التي يرمز لها بالرمز g)، ولكن، لا يستطيع المسافر العادي، وخاصة صغار السن أو كبار السن أو الضعفاء، التأقلم مع تلك المعدلات. وعند إقلاع الطائرات قد يصل معدل التسارع إلى ٠,٥٠ عجلة التسارع (g) أو أكثر، ولكن الحد الأعلى لمعدل التسارع الطولي في الحالات العادية يتراوح بين ٠,١٠ و ٠,١٥ من عجلة التسارع؛ و بين ٠,١٥ و ٠,٥٠ في حالات الطوارئ.[٤] ويجب ألا يزيد معدل التسارع العرضي على مابين ٠,١٠ و ٠,١٣ من عجلة التسارع وذلك من أجل راحة الركاب. ويعد معدل التسارع الفعلي بمقدار ٣ أميال/ ساعة/ ثانية (أي ٠,١٤ من عجلة الجاذبية) الحد الأعلى المرغوب فيه في الحالات العادية لحركة النقل العام السريع. وبهذا المعدل، سنحتاج ٨ أميال (١٢,٩كم) للوصول إلى سرعة ٣٠٠ ميل في الساعة (٤٨٣كم/ ساعة) بمعنى أن تكون المسافات بين المحطات ١٦ ميلا (٢٥,٧كم) في الأقل. أما المعدلات الأعلى من ذلك مثل المعدلات التي يمكن أن تشعر بها عند إقلاع الطائرة، التي قد تصل ٠,٥٠ من عجلة الجاذبية فإنها تتطلب وجود أحزمة للمقاعد ومنعاً تاماً للوقوف عند الإقلاع. ويجب التقليل قدر الإمكان من التوقفات الوسطية والعوائق التي تحد من السرعة.

(ب) **الخوف من الأماكن المغلقة.** يمثل رهاب الاحتجاز أو مرض الخوف من الأماكن المغلقة خطرا محتملا لأولئك المصابين به. فالرحلات الطويلة تحت الأرض وبسرعات عالية يمكن أن تُوجد خوفا في قلب الإنسان. وبالإمكان حل مثل هذه المشكلات، كما في الطائرات، باستخدام الزخرفة الجميلة، والإضاءة أو أي وسيلة أخرى تجلب الراحة للمسافر وتحول انتباهه عن الوضع الحقيقي الذي يعايشه خلال الرحلة.

(جـ) **دوار الحركة.** ينتج دوار الحركة هنا عن طريق رؤية الراكب لحركة الأشياء المتتابعة التي تمر من أمامه بسرعة عالية مثل الفواصل المتكررة في الأنفاق أو سلسلة من أعمدة الأسلاك الكهربائية. فقد يصاب الراكب بحالة غثيان ودوار مثل الذي يواجه ملاحي الطائرات أحيانا. وهذا الأثر يثبت ضرورة وضع أنظمة النقل عالية السرعة تحت الأرض وليس فوقها مع إمكانية وضع ستائر للنوافذ أو إلغاء النوافذ كليا. وكذلك، فإن التدابير التي تستعمل عادة لتحويل انتباه الراكب عن الخوف كالإضاءة والزخرفة وغيرها يمكن أن تكون فعالة في هذه الحالة، أيضا.

(د) **الضغط الهوائي.** سنناقش لاحقا تأثير ضغط الهواء على حركة المركبة في الأنفاق المحدودة المقطع، ولكن، يمكن لضغط الهواء، أن يتكون داخل المركبة أيضا مسببا إزعاجا ملموسا للركاب. ومن المحتمل أن

---

(٤) المرجع السابق نفسه.

تتطلب المركبات التي تسير بسرعات عالية التحكم بضغط الهواء داخلها كما هو الحال في الطائرات المحلقة على ارتفاعات عالية . ويجب ألا يزيد معدل ضغط الهواء على ١٠ , ٠ رطل/ بوصة مربعة في الدقيقة .(٥)

(هـ) **مستويات الضوضاء.** يعتمد مستوى الضوضاء، جزئيا، على طريقة الدعم والدفع . إذ يتسبب الدعم بالوسادة الهوائية أو الدعم بالتلامس بحدوث الضوضاء كما أن أي شكل من أشكال الدفع النفاث أو الدفع بوساطة الاحتراق الداخلي سيسبب ضوضاء . أما المحركات الكهربائية والرافعات المغناطيسية فهي هادئة نسبيا . وهناك حاجة لعزل الصوت ربما عن طريق إدخال صوت آخر بنغمة مختلفة للعمل على إخفاء الصوت غير المرغوب فيه ويفضل أن لا يتجاوز مستوى الضوضاء مستوى الصوت العادي وهو ٥٥ ديسيبلاً على أن لا يتجاوز مستوى ٨٠ إلى ٨٥ ديسيبلاً بأي حال من الأحوال حيث إن الصوت الأعلى من هذا المستوى يتسبب في حدوث إصابات للأذن البشرية . ويصل مستوى الضوضاء حاليا في داخل عربات قطارات الأنفاق إلى ٩٨ ديسيبلاً و٩٠ ديسيبلاً داخل السيارات .

(و) **التهوية.** تُعد التهوية في الأنفاق الطويلة مشكلة دائمة . ومن خلال تجارب الطائرات، تتضح إمكانية وجود حلول . ويجب أن تُبدّد الحرارة التي تلفظها المحركات وكذلك التخلص من الهواء المضغوط وإحلاله بهواء نقي . وتتعقد المشكلة عند استعمال محركات الاحتراق الداخلي لدفع المركبة .

(ز) **الارتجاج.** يساهم الارتجاج سواء كان طوليا أو عرضيا في حدوث دوار الحركة والإعياء . ويميل جسم الإنسان إلى شد عضلاته لمساندة الرأس والأعضاء الداخلية ضد الحركات الارتجاجية . وإذا وصل معدل الارتجاج بين ٢٠ و ٣٠ دورة في الثانية فإن رأس الإنسان يبدأ في الرنين ويضطرب النظر . كما يمكن أن تتسبب المعدلات الأقل خصوصا عند مدى ٦ دورات في الثانية في حدوث بعض الاضطراب، أيضا . لذا، لا بد من تصميم أنظمة الدعم والتعليق تصميما مناسبا للحد من مشكلات الارتجاج وجعل مستويات الاهتزاز ضمن الحدود المقبولة .(٦)

(ح) **التحكم بوساطة الإنسان.** إن تصميم أنظمة النقل السريع يتطلب إيجاد حلول لمسألة مدى التحكم الذي يجب أن يعطى للعنصر البشري ومقدار التحكم الذي يتم عن طريق أنظمة التحكم الآلية أو نصف الآلية . ففي السرعات العالية جدا، قد تنشأ أوضاع تتطلب الاستجابة السريعة والتصرف الفوري الذي يفوق قدرة الإنسان . ويمكن أن تلقى المسؤولية الكاملة لاتخاذ القرار على كاهل السائق أو يعطى المقدرة

---

(٥) المرجع السابق نفسه .

(٦) المرجع السابق نفسه .

على تغيير القرارات فوريا . أما في حالة الميكنة الكاملة ، فإن السائق - إن وجد - يعمل ، فقط ، مراقباً لأداء المركبة . وقد أثبتت الخبرة في الطائرات التجارية النفاثة التي تسير بسرعة تصل إلى ٦٠٠ ميل في الساعة (٩٦٥كم/ ساعة) ، وفي الطائرات الحربية التي تسير بسرعة تصل إلى ١٠٠٠ميل/ ساعة (١٦٠٩كم/ ساعة) أو أكثر ، أنه يمكن ترك قدر كبير من اتخاذ القرارات لتقدير السائق . أما المركبات التي تسير على طرق ترشدها فتتيح إمكانية أكبر للميكنة الكلية للتشغيل .

المشكـــــلات التقـنيــــــة
TECHNOLOGICAL PROBLEMS

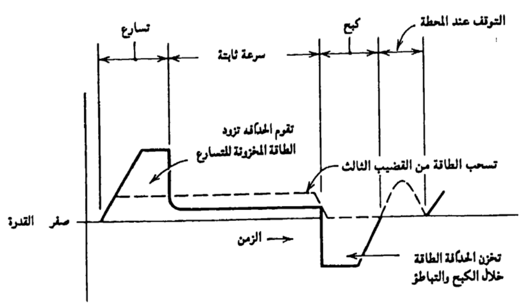
يبرز عديد من الصعوبات التقنية أثناء تطوير أنظمة النقل الأرضية السريعة وهذه تشمل الآتي :

قوة الدفع Propulsion . لتحقيق الأداء المطلوب بسرعات عالية ، فإنه من الضروري وجود قوة دفع وقدرة حصانية كافيتين للتسارع والوصول إلى السرعة العالية مع المحافظة عليها . إن استعمال الطاقة الكهربائية المولدة في محطة مركزية من شأنه أن يوفر تسارعا كبيرا إلى جانب سهولة التحكم في السرعة التي تقترن دائما بالتشغيل الكهربائي . كما أن مستوى الضوضاء الناتج عنها يعد أقل ما يمكن ، وبالإضافة لذلك ، فإن استخدام الطاقة الكهربائية يحل مشكلة غازات العادم في الأنفاق والتي تنشأ عند استعمال محركات الاحتراق الداخلي . ولا يتطلب في هذه الحالة تضييع جزء من حيز المركبة لتخزين الوقود . ولكن ، نظرا لتناسب الطاقة المطلوبة في الأقل ، مع مربع السرعة ، فإن ذلك يعني مزيدا من الطلب على القدرة الحصانية والطاقة المكلفة التي تنتجها ، مما يبرز التساؤلات مرة أخرى عما إذا كانت السرعات العالية تستحق التكلفة التي تصرف عليها . وقد وُجّهت المجهودات في الوقت الحاضر لاستعمال المحركات التي تعمل بوساطة الحث الخطي (انظر الفصل الخامس) باعتبارها طريقة الدفع المفضلة .[٧] أما بالنسبة للمسارات خارج الأنفاق ، فإن المحرك التوربيني الغازي يوفر مصدرا جيدا للطاقة يتميز بالكفاءة وخفة الوزن مما يسهل حمله داخل المركبة . ويمكن للمحرك التوربيني أن يولد الدفع من خلال التروس الميكانيكية وذلك باستخدام النظام النفاث أو النظام المروحي أو عن طريق ربطه بنظام المولدات والمحركات الكهربائية .

ومن الأفكار الحديثة في هذا المجال التي تستخدم في مركبات النقل العام السريع والحافلات مبدأ تخزين الطاقة في الحدافة حيث تُشْحَنُ أولا حدافة تدور في حيز فراغي وتزن ٦٨ كغم (١٦٠ رطلاً) وقطرها ٥١ سم (٢٠ بوصة) بالطاقة الكهربائية بوساطة محرك كهربائي عند محطة الوقوف أو أثناء عملية المكبح حيث تدار بسرعة تتراوح بين ٩٠٠٠ و ١٤٠٠٠دورة بالدقيقة وبعد ذلك تستخدم الطاقة المختزنة في الحدافة لدفع المركبة وتسارعها نحو المحطة التالية . ويمتاز هذا النظام بتوفير الطاقة . انظر الشكل (١ , ٧) لمعرفة دورة الطاقة في الحدافة .

---

(٧) حققت المركبة التي طورتها وزارة النقل الأمريكية والتي تسير على عجلات حديدية مشفهة وتدار بمحرك حث خطي سرعة قدرها ٤١٠كم/ ساعة (٢٥٥ميلا/ ساعة) وذلك عند اختبارها في مسار الاختبار التابع للوزارة .



الشكل (١,٧). نظام تخزين الطاقة بوساطة الحذافة.

(Courtesy of Airesearch Manufacturing Company of California, Torrance, California, A Division of The Garrett Corporation.)

التقاط الطاقة Power Pick-up. هناك اتفاق عام على أنه سيُحتاج إلى الطاقة الكهربائية على ظهر المركبة سواء للدفع المباشر أو لشحن الأجزاء المختلفة في النظام المبني على قاعدة الحث أو للإضاءة، وكذلك لأغراض ثانوية أخرى. ولكن مشكلات الحجم والتهوية، وخاصة في الأنفاق، تميل إلى إلغاء فكرة توليد الطاقة على ظهر المركبة. والطريقة المتبعة لنظام التقاط الطاقة هو عن طريق التلامس الانزلاقي—إما عن طريق حذاء يكون على قضيب ثالث وإما عن طريق موصلات أو أسلاك كهربائية مثبتة فوق أسلاك موصلة بالتلامس.

وتشير الخبرة إلى وجود صعوبات في المحافظة على التلامس المستمر عند السرعات التي تتجاوز ٢٤١كم/ساعة (١٥٠ ميلاً/ ساعة) وذلك بسبب الحركة الموجية والتمايل والاهتزاز في الموصل بالإضافة إلى تأرجح المركبة واهتزازها. إلا أن مثل هذا النظام يمكن تطويره لسرعات تتراوح بين ٣٢٢ و٤٠٢كم/ ساعة (٢٠٠ و٢٥٠ ميلاً/ ساعة)، ولكنه قد لا يكون مفيدا للسرعات التي تزيد على ذلك. واقترح نظام آخر لالتقاط الطاقة لا يعتمد على التلامس ولكن عن طريق استخدام النقل بوساطة المايكرويف الذي ثبت نجاحه عند تجربته في المختبرات. إلا أن الجدوى التقنية لتطبيق هذا النظام في نظام النقل الأرضي السريع مازالت تحتاج مزيدا من التطوير.[٨] كما اقترح أن يُقرَن بين التيارين الكهربائيين بأسلوب الحث أو المكثفات كوسط لنقل الطاقة إلا أن تلك الطرق لا تزال تعاني مشكلات في كفاءة نقل الطاقة وسلامة الركاب.

---

(٨) *Research and Development for High Speed Ground Transportation,* Report of the Panel on HSGT to the committee Technical Advisory Board, U. S. Department of Commerce, March 1967, p. 22.

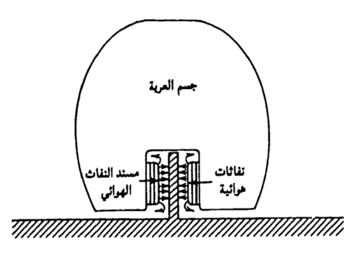
التحكم في السرعة Speed Control. لا يمكن ضمان السلامة عند السير بسرعات عالية إلا في حالة توافر إمكانية للتحكم في هذه السرعات وتخفيضها عند الحاجة. وعلى الرغم من أن معدل التباطؤ الذي قدره ٠,٢ من عجلة الجاذبية يعد مناسبا لمكابح المركبات في ظروف الخدمة المعتادة، إلا أنه يجب توفير معدلات أعلى للتباطؤ في حالات الطوارئ تصل إلى ٠,٥ من عجلة الجاذبية. وينتشر استخدام المكابح الاحتكاكية حاليا التي تشمل المكابح الحافية والقرصية والحديدية ويمكن تعزيزها إما بالكبح الاسترجاعي (كما هو سائد في القاطرات الكهربائية والعربات المتعددة الوحدات) وإما بالكبح الهوائي الديناميكي حيث تُمَدّ جنيحات وأجزاء مقاومة للسحب للاستفادة من مقاومة الهواء الكامنة وإما بالمكابح الهيدروليكية حيث توفر المقاومة العالية للسائل الموضوع في قناة المسار الكبح عن طريق ريشة على شكل ملعقة مغمورة داخل السائل ومثبتة في المركبة، ويتم التحكم بقوة الكبح عن طريق التحكم في عمق الريشة.

الإرشاد Guidance. يعد الإرشاد السليم الآمن والمتكامل أمرا ضروريا للحركة بسرعات عالية. كما أن الإرشاد السليم يعد أمرا مرغوبا فيه في السرعات المنخفضة، أيضا. وهناك نظامان عامان بدءا يتبلوران بديلين لنظام العجلات المشفهة التي تسير على القضبان. أحد هذين النظامين هو الإرشاد بوساطة قضيب مركزي موضوع في وسط السكة بحيث ترتكز العجلات المساندة المعلقة عرضيا تحت المركبة على كمرة فولاذية أو على كمرة إرشادية موضوعة في محور السكة أو الطريق. انظر الشكل (١٤,١أ). وهناك نمط آخر لهذا النظام مستعمل في بعض قطارات الأنفاق (والأنظمة الجديدة المقترحة) حيث تنقل العجلات المرتكزة عرضيا إلى الأطراف الخارجية أسفل المركبة لترتكز على قضبان إرشادية موضوعة على امتداد السكة أو الطريق أو ترتكز على الرصيف الجانبي المرتفع للطريق. انظر الشكلين (١٤,١أ) و(١٤,١د). أما في النظام الثاني فيتم إحلال مساند محل العجلات المعلقة عرضيا ويُنْفَث الهواء عبر تلك المساند نحو الكمرة الإرشادية أو نحو جدران القناة أو النفق المحيط بالمركبة. وإذا استخدمت كمرة إرشادية من النوع المركزي مع نفاثات الهواء فإن المركبة غالبا ما تستقر فوقها مع انفراج كما هو الحال في تصميم القطار الفرنسي آيروترين. انظر الشكل (٧,٢).

الدعم والرفع Support and Levitation. يعد نوع وسيلة الدعم أو الرفع مسألة أساسية في الأنظمة ذات السرعات العالية. وفي الأنظمة التقليدية، فإن الالتصاق بالطريق يتم عن طريق عجلات حديدية مشفهة تسير على قضبان أو بوساطة إطارات مطاطية تسير على أسطح مرصوفة.

وبالنسبة للمساندة بالاحتكاك المذكورة، أي العجلات الحديدية المشفهة التي تسير على قضبان أو الإطارات المطاطية التي تسير على الرصفيات، فيجب المحافظة على درجة عالية من الدقة في قطاع الطريق أو السكة ومستواها العرضي ومحاذاتها لتوفير نوعيات عالية من الركوب المريح وتقليل الإرتجاجات والصدمات وضمان بقاء المركبة على الطريق. ولا تسمح مواصفات السلامة للسكك الحديدية من الدرجة السادسة حسب تصنيف إدارة السكك

الحديدية الاتحادية الأمريكية بزيادة الاختلافات في المستوى العرضي لها عن ٥٩ , ١ سم (⅝ بوصة) لكل ٩ , ١٨ متر (٦٢ قدما) .[٩] وعلى سبيل المثال، فإن مسار اختبار السرعات العالية الخاص بوزارة النقل الأمريكية المعروف باسم الرمال البيضاء (وايت ساندز) المصمم للاختبارات التي تصل سرعتها إلى ٩٧٧ , ١ متر/ ثانية (٢٩٠٠ قدم/ ثانية) قد صمم بحيث لا يزيد التفاوت في المحاذاة على ±٠٩ , ٠ سم (±٠٣٦ , ٠ بوصة) لكل ٦٠٩٦ متراً (٢٠٠٠٠ قدم). ومن الواضح أن الدرجة العالية من الدقة ستكون ضرورية للسرعات التي تتراوح بين ٤٨٣ و ٩٦٥ كم/ ساعة (٣٠٠ و ٦٠٠ ميل/ ساعة) وتحقيق مثل هذه الدقة العالية والمحافظة عليها أمر مكلف ماديا .



الشكل (٧,٢). الإرشاد بالقضيب الوسطي مع النفاثات الهوائية.

وقد أثبتت التجارب أن العجلات الحديدية التي تسير على القضبان تفقد التصاقها عند تجاوز سرعة ٣٢٢ كم/ ساعة (٣٠٠ ميل/ ساعة)، ولكن الأداء الفعلي عند السرعات التي تتجاوز ذلك لم يُبحَث بعد .[١٠] وبالإضافة لذلك، فإن تأثيرات القوى الطاردة المركزية على التركيب المعدني للعجلات لازال بانتظار مزيد من البحوث .

أما الإطارات المطاطية فيمكن أن تتحمل سرعة قدرها حوالي ٢٠٠ ميل في الساعة (٣٢٢ كم/ ساعة) في ميادين سباق السيارات وتزيد هذه السرعة على ٥٠٠ ميل في الساعة (٨٠٥ كم/ ساعة) في حال استخدامها في رحلة واحدة . ولكن هناك حاجة لمزيد من الأبحاث حول قدرة تحمل الإطارات المطاطية التي تسير بسرعة تتجاوز ٢٠٠ ميل/ ساعة (٣٢٢ كم/ ساعة)، فقد أدى ذلك إلى تركيز الجهود حول النظم غير الالتصاقية . ويجري حاليا

(٩) Fedral Railroad Administration Track Safety Standards as amended 22 December,1972, Para. 213.63 Track Surface.

(١٠) *Research and Development for High Speed Ground Transportation.* Report of the Panel on High Speed Ground Transportation convened by the Commerce Technical Advisory Board, U. S. Department of Commerce, Washington, D. C., 1967, pp. 10-13.

تطوير نظامين من هذا النوع وهما : (أ) الدعم بالسوائل (أو بالهواء)، (ب) الدعم المغناطيسي أو الرفع . ويحتاج كل من هذين النظامين طاقة إضافية لتوفير الدعم خلاف الطاقة المطلوبة أصلا للدفع .

وتتطلب أنظمة الدعم بالسوائل طاقة مستحثة يتفاوت مقدارها طبقاً لسرعة المركبة وقوة الرفع ومساحة منطقة الرفع وشكل المركبة والخلوص الصافي بين المركبة وسطح الطريق . وتتركز المسألة، أساساً، حول العلاقة بين الخلوص الصافي والطلب على الطاقة . وتستفيد الأنظمة ذوات الخلوص الصافي القريب جدا من «التشحيم» من الهواء الذي يحدث بسبب انزلاق النعل أو الحذاء على قضيب إرشادي مع ضغط للهواء يُضخّ عبر فتحات في النعل. وبذلك، يتكون شريط رقيق جدا من الهواء بسمك نحو ٠٠٢٥٤ , ٠سم (٠٠١ , ٠بوصة).

ويمكن، أيضا، الحصول على خلوص صاف قريب باستخدام حجرات أو مساند ممتلئة بالمادة مع المحافظة على وسادة هوائية داخل الحجرة. ويستخدم في تصّميم معدات التأثيرات الأرضية وسادة هوائية يتراوح سمكها بين ٠٢٥ , ٠ و١٢٧ , ٠سم (٠١ , ٠ إلى ٠٥ , ٠بوصة) مع وجود حواف مرنة ومفتوحة من المادة الممتلئة بطول نحو ١٠سم (٤بوصات). ويمكن التقليل من الطاقة الكلية لو أمكن توجيه نفاثات الهواء إلى الخلف بطريقة تعمل على تحقيق الرفع والدفع معا. ويساعد الحيز المحيط للنفق القريب الخلوص في هذا الجانب، بالرغم من أنه يزيد من مقاومة السحب الطفيلية للمركبة.

وتتطلب هذه الأنظمة دقة متناهية في إنشاء الطريق وصيانتها. إذ يجب أن يكون السطح نفسه ناعما. وتصل درجة النعومة المرغوب فيها إلى سنتيمتر واحد لكل ١٠ أمتار. وتصل نسبة طاقة الرفع إلى طاقة الدفع نحو ١ إلى ٣. ارجع للفصل الرابع لمزيد من المناقشة حول هذا الموضوع.

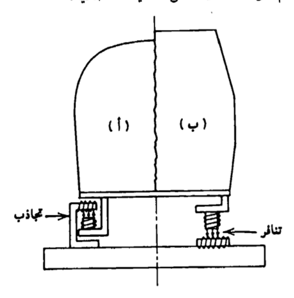
الرفع المغناطيسي Magnetic Levitation. تستفيد أنظمة الدعم المغناطيسي (التي تعرف باسم ماقليف MAGLEV) من خصائص الجذب والتنافر الأساسية في المواد الممغنطة. وهناك نظامان تجري دراستهما حاليا وهما : (أ) نظام التنافر المغناطيسي (في الولايات المتحدة الأمريكية) حيث يحدث تنافر (رفع) للمركبة عندما يجري تنفيرها إلى الأعلى بوساطة جزء معدني من الطريق، و(ب) نظام الجذب المغناطيسي حيث ترفع المركبة بوساطة قوة الجذب بين أحذية المركبة وحافظة مغناطيسية مثبتة فوقها على حافة الطريق. انظر الشكل (٣ , ٧).

ويستخدم في نظام التنافر موصل غير مغناطيسي مثل الألومنيوم كقضبان للسكة. وتوضع موصلات مغناطيسية عالية القوة تحت الجزء السفلي للقطار. وكلما زادت السرعة فإن التيارات المعاكسة التي يولدها التفاعل المغناطيسي تعمل على رفع المركبة بمقدار ٢٠ إلى ٢٥سم (٨ إلى ١٠ بوصات) فوق السكة، أي أن النظام يكتسب خاصية الرفع مع زيادة السرعة.

أما نظام الجذب فإنه يستخدم مغناطيسيات كهربائية توضع في كل من حذاء المركبة وفي أخدود في قضيب مقلوب ويُحافظ على فجوة بمقدار بوصة واحدة بينهما عن طريق التحكم في قوة المغناطيسيات. وفي هذه الحالة، فإن عملية الرفع لا تعتمد على السرعة.

وفي حالات الدعم الذي لا يتم عن طريق التلاصق، أي الوسادة الهوائية أو بالرفع المغناطيسي، فإن درجة الدقة في تشييد الطرق وصيانتها تختلف باختلاف الخلوص الصافي المطلوب بين المركبة والطريق. ويتطلب الخلوص

القريب الذي يتراوح قدره بين نحو ٠٠٢٥٤, ٠ و١٢٧, ٠سم (٠٠١, ٠ إلى ٠٥, ٠بوصة) لنظام معدات التأثيرات الأرضية، وحتى ٥٤, ٢سم (١بوصة) لنظام الرفع المغناطيسي، ماغليف، درجة عالية من الدقة. ولكن كلما زاد الخلوص الصافي زادت القدرة الحصانية اللازمة للمحافظة على الحجم اللازم للهواء، أو قوة المجال المغناطيسي اللازمة للدعم. ويجب تقويم مثل هذه المقايضة من الناحية الاقتصادية.



(أ) التجاذب (ب) التنافر

الشكل (٧,٣). أنواع نظام الرفع المغناطيسي.

حركات الأرض الطبيعية Earth Movements. بالإضافة إلى التشوهات التي تحدث في المستوى العرضي للطريق ومحاذاته بفعل ديناميكية حركة المركبة أو بفعل الانحرافات في قوى الدعم المحلية، يجب الأخذ في الاعتبار مشكلة حركة الأرض الطبيعية في مواقع الأنفاق العميقة حيث يحدث هناك، أحيانا، تغيرات طفيفة في الطبقات السفلى من الأرض. وقد أدخلت بعض الاحتياطات التصميمية في نظام النقل العام السريع في منطقة خليج سان فرانسيسكو في النفق الواقع بين سان فرانسيسكو وأوكلاند وذلك للوقاية من الهزات التي تحدثها الزلازل. إذ إن الهزات البسيطة المتكررة قد تكون ذات أثر سيء عندما تكون مناسيب أسطح الطرق التي تحتاج إلى دقة عالية في نوعيتها وتركيبها على مستوى أعمق من الأعماق العادية للأنفاق.

تشييد الأنفاق Tunnel Construction. هناك عديد من المصاعب التي تصاحب تشييد الأنفاق الطويلة سواء من حيث إجراءات التشييد أو التكاليف أو آثار ارتجافها وتحركاتها أو من حيث التخلص من المواد التي تحفر. وتمثل عملية تثبيت التربة القليلة التماسك مشكلة أدت إلى تطوير أجهزة خاصة بشق الأنفاق لها أحجبة واقية يمكن من خلالها

تركيب أسطح دعم دائمة . وقد صممت حفارات أرضية ضخمة لاستخدامها في الحفر وسط الطين الصلب . وتجرى، حاليا، بحوث حول استخدام أشعة الليزر ونفاثات اللهب وأقواس الكوارتز لتليين المواد الصخرية أو فصلها وذلك لتدعم أو لتحل محل آلات الحفر الضخمة التقليدية البطيئة في عمليات الحفر والتفجير والتخلص من المخلفات . وهناك مشكلات أخرى ينبغي حلها مثل تصريف المياه والتهوية ومقاومة الأسطح الداخلية للنفق لغازات العادم وممرات الهروب والإنقاذ في حالات الطوارئ والحوادث أو توقف نظام النقل عن العمل .

ضغط الهواء Air Compression. يسبّب ضيق الأنفاق تراكم كميات من الهواء الساخن أمام المركبة التي تتحرك بسرعة عالية والتي يملأ حجمها معظم مساحة النفق ويسمى ذلك أثر الكبس . ولا يقتصر هذا الأثر على زيادة مقاومة الدفع وزيادة الضغط داخل المركبات ولكن، أيضا، تزداد درجة الحرارة التي يجب التخلص منها . ويمكن للمركبة ذات الحجم العادي بقدرة ١٠,٠٠٠ حصان والمارة عبر نفق مساحة قطاعه العرضي ٢٠٠ قدم مربع بسرعة ٣٠٠ ميل في الساعة (٤٨٣كم/ ساعة) أن ترفع درجة الحرارة بمقدار ٤ درجات فهرنهايت إذا كان دفع المركبة يتم بالطاقة الكهربائية . أما إذا كان الدفع يتم بوساطة التوربين فإن درجة الحرارة يمكن أن ترتفع بمقدار ١٦ درجة فهرنهايت .[١١] أما المركبة التي تدخل النفق بسرعة عالية بحيث تكون نسبة مساحة النفق مقاربة لمساحة المركبة فإنها تتعرض لارتجاج وانضغاط في الهواء يمكن أن يؤذيا المركبة والموجودين فيها معا .

والتهوية ضرورية، سواء كانت عن طريق الدفع أو من خلال فتحات علوية، وذلك للتغلب على مقاومة الهواء والضغط والحرارة، ولطرد الغازات في حالة استعمال الوقود الكيميائي . ومن الحلول المقترحة للتغلب على هذه المشكلة استخدام شفاطات الهواء بحيث يسحب الهواء من خلالها من قطاعات النفق التي أمام المركبة لتقليل مقاومة الهواء؛ ثم يحول هذا الهواء إلى خلف المركبة ليساعد في عملية الدفع . ويساعد السماح لمرور الهواء أمام المركبة في عمليات التحكم في سرعة المركبة وكبح حركتها . وهناك نظام آخر يسحب الهواء من أمام المركبة ثم يزيد ضغطه عن طريق جهاز ضاغط محمول داخل المركبة ثم يقذف به من خلفها كوسيلة للدفع . وفي الأقل، يجب أن يكون هناك فتحات ومراوح كافية لطرد الهواء .

أفكار محددة لأنظمة السرعات العالية
SPECIFIC HIGH SPEED CONCEPTS

إن تعداد مفاهيم أنظمة النقل الأرضي عالية السرعة يمكن أن يأخذ صفحات كثيرة وفيما يلي تلخيص بعض المفاهيم التي تبينت جدواها واجتازت بعض الاختبارات المبدئية بنجاح .

الطرق الآلية Automatic Highways. لقد شرحنا سابقا التحسينات الممكنة للنقل على الطرق . وبالإضافة لذلك، فإن هناك نظاما مبتكرا يسمى الطريق الآلي الذي يتم فوقه التحكم بالمركبات وإرشادها بوساطة توصيلها بالحث

---

(١١) المرجع السابق نفسه .

بسلك كهربائي ممدود في محور كل حارة من الطريق. وعلى الرغم من حدوث تطورات قريبة في نوعية الطرق والمحركات وتصميم المركبات، إلا أنه من غير المحتمل أن تزيد السرعة السائدة كثيرا على ١٦١ كم/ ساعة (١٠٠ ميل/ ساعة) في تلك الطرق الآلية.

حاملات السيارات Auto Carriers. إضافة إلى التطورات في ا لتقنية التقليدية المتقدمة، فقد اقترح استخدام الحاملات لتحريك السيارات (والشاحنات) لمسافات طويلة ويتوقع أن يؤدي إلى الحدّ من الطاقة والتلوث والوقت وتشييد الطرق، وإلى السلامة والراحة.

وأحد المقترحات لهذا النظام هو إنشاء سكك حديدية جديدة تكون المسافة البينية بين قضبانها ٤٩ , ٥ متر (١٨ قدماً) وتحمل المركبات بسعة تتراوح بين ١٠ و١٢ سيارة في فتحات عرضية على السكة. وفي نظام آخر، تُشَيّدُ أبراج لحمل أسلاك هوائية تعلق منها السيارات عن طريق موصلات مثبتة في أسقف السيارات.

وربما تحل هذه الأنظمة الجديدة مشكلة لسنا بصددها. فمشكلة النقل ليست حادة على الطرق التي تربط المدن ببعضها. ولكن الاختناقات تحدث عند الاقتراب من المدن وفي داخلها. ولذلك، فإن الحاملات توفر سعة في الأماكن التي لا تحتاجها ثم تلقي بعدد كبير من السيارات في الأماكن التي يكون فيها الاختناق على أشده. غير أن زيادة الطلب على السعة والحاجة لتقليل استهلاك النقل على الطرق من الطاقة والتقليل من التلوث قد تبرز جدوى مثل هذه الأنظمة في المستقبل. وأما في الوقت الحاضر، فإن السيارات تحمل على سكك حديدية تقليدية حيث تكون موضوعة طوليا في عربات القطار بينما يكون قائد السيارة مرتاحا في عربة أخرى للركاب وتوفر شركة قطار السيارات (أوتوترين) هذه الخدمات بين ولاية فلوريدا ومدن شمالي الولايات المتحدة. وعامل الجذب الرئيسي هنا هو الراحة التي يجدها الفرد في الحصول على سيارته في المكان الذي يسافر إليه دون عناء قيادة السيارة على الطريق الطويل وما يتبع ذلك من مصاريف إضافية خلال الرحلة لو قادها بنفسه. ويجري التفكير في تطبيق هذا النظام على الشاحنات، أيضا.

المركبات الأحادية القضيب Monorail. لا يوجد، فعلا، نظام عملي حقيقي للمركبات الأحادية القضيب، أي مركبة ترتكز على قضيب واحد من خلال صف من العجلات المنتظمة في خط واحد يحفظ توازنها عن طريق أداة حفظ التوازن المسماة الجيروسكوب. وأقرب أسلوب لهذا النظام هو نظام مستخدم في ويبرتال بألمانيا حيث تتدلى العربة المعلقة من قضيب أحادي وتسير بسرعة تتراوح بين ٣٢ و٤٨كم/ ساعة (٢٠ و٣٠ميلاً/ ساعة) واستخدمت أنواع مختلفة من هذا النظام ولكن بسعة أقل في المتنزهات والمطارات والمعارض الضخمة. وتستخدم أنواع أخرى مما يطلق عليها نظام أحادي القضيب تجاوزا عجلات على عدة محاور أو أكثر من سطح ارتكاز واحد.

وتصنف المركبات أحادية القضيب في نوعين أحدهما يعمل بنظام التعليق والآخر بنظام الارتكاز. ويمكن أن يستعمل في النوع المعلق مسار مكون من كمرات صندوقية مفصولة وتتعلق المركبة بعربة صغيرة تدار بالطاقة الكهربائية وتسير على عجلات عادية مشفهة ومتقاربة وتسير على قضيبين متوازيين ومتقاربين. ويمكن استبدال العجلات الحديدية بإطارات مطاطية تسير على أسطح خرسانية و يحل محل حواف العجلات الحديدية قضبان

جانبية أو قضيب مركزي يستعمل للإرشاد. إلا أن هذا النوع من التصاميم يواجه عدة مشكلات تشمل الخلوص الرأسي المرتفع والتأرجح الجانبي خاصة عند الوصول إلى أرصفة المحطات والدفع الطولي التي تتعرض له إنشاءات الطريق الحاملة. كما يشكل التحويل من قضيب لآخر مشكلة في حد ذاته. وحاليا، فإن أفضل أداء لهذا النظام يتحقق من خلال استعمال طرق حلقية مغلقة أو طرق مقوسة. ومن المتوقع أن تفوق السرعة ٢٤٠كم/ ساعة (١٥٠ ميلاً/ ساعة)، إلا أن النماذج التجريبية لم تتجاوز سرعتها ١١٣ إلى ١٢٩كم/ ساعة (٧٠ إلى ٨٠ميلاً/ ساعة) إلا نادرا. وهناك عديد من هذه الأنظمة التي تعمل بنجاح في مدينة طوكيو باليابان.[١٢]

أما النوع الآخر فهو الذي يعمل بالارتكاز مثل النماذج المستخدمة في دزني لاند وفي مدية سياتل بأمريكا والتي يشمل تصميمها كمرة خرسانية تستخدم كقضبان تسير عليها عدة مجموعات من العجلات بإطارات مطاطية وترتكز على سطحها من أجل الدعم والجرّ، وعلى جوانبها من أجل الإرشاد. وهذا النظام يتطلب، أيضا، خلوصا رأسيا مرتفعا كما أن سطح القضيب الخرساني يتجعد من الاستعمال. لذلك يجب تسطيحه تسطيحاً أملس من وقت إلى آخر. ولا يمتاز هذا النوع براحة تميزه في الركوب عليه. كما أن عملية التحويل تعد من عيوبه الرئيسية إذ يلزم لذلك تحريك جزء كامل من الكمرة وهي عملية تحتاج ٤٥ ثانية تقريبا. وقد حقق هذا النظام سرعة تزيد على ٢٠٩كم/ ساعة (١٣٠ ميلاً/ ساعة)، ولكن يبدو أن سرعة ٢٠ إلى ٣٠ ميلا/ ساعة هي السائدة في النماذج الحالية. ويبين الشكل (١ , ٤) الأنواع المختلفة لنظام المركبات أحادية القضيب.

ولقد اقترحت أنظمة المركبات أحادية القضيب لربط مراكز المدن بالمطارات، وللحركة داخل المطارات وفيما بينها، ولخدمة الضواحي وحتى للسفر بين المدن. إلا أنه يبدو عدم وجود حاجة لاستخدامها حيث إن التقنية الحالية لأنظمة النقل التي تعتمد على السكك المزدوجة القضبان من أجل الدعم تستطيع إنجاز جميع ما يقال إن المركبات أحادية القضيب يمكنها القيام به، وتبعا للدراسات المختلفة، فإن تكلفة إنشاء السكك المزدوجة وجهدها أقل.

الأنظمة المدعومة بالهـواء Air Support Systems. لقد سبق أن ناقشنا، باختصار، المبادئ الأساسية لأنظمة الدعم الهوائي. أما من حيث التطبيق فإن المركبة البرمائية المسماة «الهوفركرافت» المرتفعة الخلوص التي ذكرناها سابقا تمثل أحد التطبيقات الحالية لهذا النظام والتي تستعمل خاصة لعبور القنال الإنجليزي بين دوفر وبلوجن في ٤٥ دقيقة تقريبا.

وهناك نظام آخر يمثله القطار الفرنسي المسمى آيروترين (القطار الهوائي)، وكذلك المركبات التي تسير على سكة من الوسادات الهوائية التي تُجري تطويرها واختبارها وزارة النقل الأمريكية في مركز أبحاث النقل الأرضي عالي السرعة الذي يقع في ولاية كولورادو. يرتكز القطار الهوائي على وسادة هوائية بسمك ٠,٢٥٤سم فقط (٠,٠١ بوصة) موضوعة على طريق خرساني على شكل حرف (T) مقلوبة. وتوضع المركبة بحيث تنفرج حول قائم حرف (T) المقلوب، ويتم إرشاد المركبة عن طريق نفاثات هوائية مسلطة على القائم. أما قوة الدفع فتأتي من محركات نفاثة على سطح المركبة، غير أنه من المقترح استخدام محركات كهربائية تعمل بالحث الخطي وذلك مستقبلا.

---

(١٢) *The Japan Times*, 14 May 1973, p. 3.

وتستخدم المركبات التي تدرسها وزارة النقل الأمريكية طرقا على شكل قنوات. وتوفرّ نفاثات هوائية الإرشاد عن طريق نفث الهواء على جانبي قناة الطريق. ومرة أخرى، تستخدم محركات نفاثة بعملية الدفع ولكن المحركات الكهربائية التي تعمل بالحث الخطي ستستعمل مستقبلا. انظر الشكل (٤ ,٧أ). ولقد حقق النوع الذي يرتكز على قضيب وله محرك يعمل بالحث الخطي سرعة ٣٧٠كم/ ساعة (٢٣٠ميلاً/ ساعة). كما أن المركبات التي تسير على سكة من الوسادات الهوائية مصممة لحمل ٢٠٠ راكب بسرعة تصل إلى ٢٤٠كلم في الساعة تقريبا (١٥٠ ميلاً/ ساعة). انظر الشكل (٤ ,٧ب). ولكن اضطراب الهواء سيسبب مشكلة لتشغيل هذه المركبات في قطارات أو عندما تكون المسافة البينية قريبة جدا.

أنظمة الأنفاق الأنبوبية Tube Systems. تتراوح المركبات التي تستخدم الأنفاق الأنبوبية بين تلك الأنظمة التقليدية للنقل العام السريع بسكة مزدوجة القضبان و الأنظمة المبتكرة التي تعتمد على الدعم والدفع الهوائي الديناميكي.

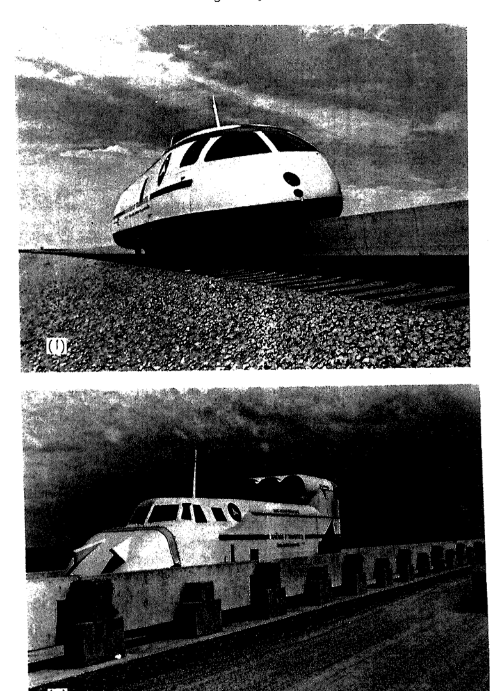
ويقترح أحد هذه التصاميم وهو أنبوب «إدوارد» استخدام سلسلة من المحطات لشفط الهواء. ويُفرّغ الهواء الذي أمام المركبات التي ترتكز على قضبان لتقليل مقاومته ثم يدخل ذلك الهواء المسحوب مرة أخرى خلف المركبة للمساعدة على دفعها. ويعتمد هذا النظام عند استعماله في الأنفاق العميقة جدا على الجاذبية للقيام بكل من عملية الدفع وعملية التباطؤ عند حركة المركبات للأسفل ثم صعودها مرة أخرى عند المحطات القريبة من سطح الأرض.

أما أنبوب «فوا» فيستخدم قاعدة النفث القوي. حيث يُسحب الهواء من النفق أمام المركبة مما يقلل من مقاومته. ثم يضغط ويُنْفَثَ عبر نفاث يدور بسرعة لتكوين دوامة دافعة خلف المركبة ويتم دعم المركبة وإرشادها بوساطة نفاثات هوائية توجه من مساند موضوعة على جدران النفق. ويتوقع أن تستطيع المركبة السير بسرعة ٥٠٠ إلى ١٠٠٠ ميل في الساعة.

خلاصة
SUMMARY

من الواضح أن هناك عديدا من الأفكار المبتكرة التي قد تصل إلى مائة أو تزيد والتي يمكن تطويرها واستعمالها. ومن ضمن هذه الأفكار أنظمة المركبات الأحادية القضبان والحافلات الهوائية (وهي أنظمة نقل عام سريع فردي مطوّر) والحافلات التي تطلب هاتفيا والمركبة البرمائية (هوفركرافت). وجميع هذه الأنظمة يجري استخدامها على مستوى التشغيل التجاري. وقد وصلت هذه الأنظمة إلى مرحلة من التطوير التقني لدرجة أن اختبارها واستخدامها خاضع للعوامل الاقتصادية، فقط.

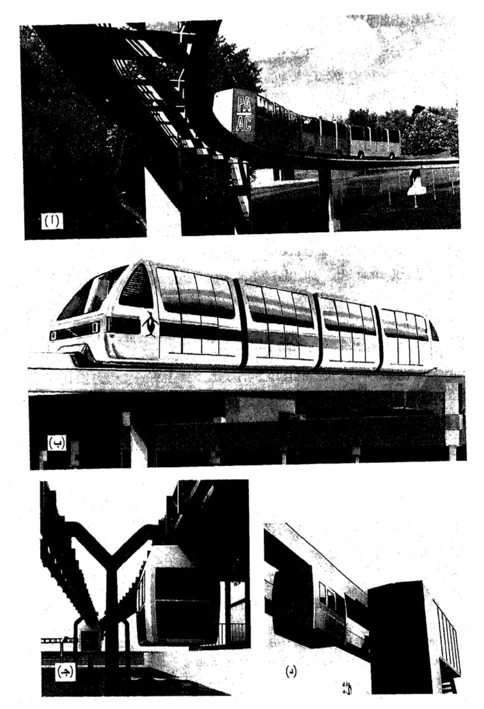
ويجري الآن اختبار كل من محرك الحث الخطي الذي سبقت مناقشته بالتفصيل في الفصل السادس. وأنظمة الدعم الهوائي ذات الخلوص القريب في أوروبا وكذلك لدى وزارة النقل الأمريكية. انظر الشكل (٤ ,٧). وتحتاج هذه الأنظمة مزيداً من التطوير التقني. كما أنه يجري حاليا دراسة نموذج تجريبي لنظام الرفع المغناطيسي. ويبين الشكل (٥ ,٧) عدة وسائل نقل جديدة مقترحة.



(أ) مركبة محرك الحث الخطي . (ب) مركبة تسير على سكة من الوسائد الهوائية .

الشكل (٤,٧). مركبات اختبار تابعة لوزارة النقل الأمريكية.

(Courtesy of The U.S. Department of Transportation, High Speed Ground Transportation Test Center, Pueblo, Colorado.)



(أ) قطار نقل عام سريع بثلاث عربات (ب) نظام هاواي للقطار الأحادي
(جـ) كمرة دعم وإرشاد لعربة أحادية (د) مركبة تعمل بالرفع المغناطيسي .

الشكل (٧,٥). وسائط النقل المستقبلية الخاضعة للتطوير.

(Courtesy of Westinghouse Electric Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania.)

وعلى الرغم من أن الاعتبارات التقنية مازالت تشكل صعوبات كبيرة، إلا أن العامل الاقتصادي هو الأهم. والسؤال هو هل تستطيع هذه الأنظمة الجديدة توفير بديل مناسب من النواحي الاقتصادية والتقنية للأنظمة المعروفة العاملة حاليا؟ مازال هذا السؤال يحتاج إجابة شافية.

أسئلـــة للـدراســـة
QUESTIONS FOR STUDY

١- اشرح لماذا نحتاج الاعتماد الكبير على القيام بتحسينات قصيرة المدى على وسائل النقل المستعملة حاليا.

٢- علّق على حقيقة وجود فترة زمنية فاصلة عادة ما تقع بين بزوغ فكرة لتطوير نظام نقل معين إلى أن يصبح حقيقة ملموسة تستعمل كل يوم.

٣- صف بعض التحسينات الممكنة حاليا لجعل نظم النقل المعمول بها أكثر فائدة وفعالية.

٤- فرّق بين الخدمات التي تحتاج اختراعات للسرعة البطيئة وتلك التي تحتاج اختراعات للسرعات العالية واشرح الأسباب التي تؤدي لاختلاف الاحتياجات.

٥- عرّف النقل الأرضي عالي السرعة واشرح لماذا يجب توجيه الجهود التي تهدف لزيادة السرعة نحو تحقيق قفزات هائلة في قدرة المركبات على السرعة.

٦- ما النقل العام السريع الفردي؟ اشرح مجالات الاستخدام الصحيح أو النافع له.

٧- ما الصعوبات والمشكلات التقنية التي ترافق استخدام الأنفاق في النقل عالي السرعة؟

٨- اشرح العبارة التي تقول إن السرعات العالية تمثل بيئة ضارة للإنسان وعرّف المشكلات البشرية التي تنتج عنها.

٩- لخص المجالات المفيدة لاستخدام الأنواع المختلفة للنقل العالي السرعة المقترح استخدامها مستقبلا.

١٠- في رأيك، أي الاختراعات المقترحة سيكون لها حظ كبير من النجاح؟ اذكر بالتحديد الأسباب التي تشير لذلك.

قـــراءات مقـترحـــة
SUGGESTED READINGS

1. W.W. Siefert et al., *Survey of Technology for High Speed Ground Transportation,* Massachusetts Institute of Technology report for the United States Department of Commerce, Northeast Corridor Transportation Project, PB 168 648, Washington, D.C., June 1965.
2. *The Glideway System,* an interdisciplinary design project by students of the Massachusetts Institute of Technology for theUnited States Department of Commerce, M. I. T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1965.
3. Howard R. Ross, "New Transportation Technology," *International Science and Technology,* November 1966.
4. *Research and Development for High Speed Ground Transportation,* Panel on High Speed Ground Transportation convened by the Commerce Technical Advisory Board, U. S. Department of Commerce, March 1967.

5. William S. Beller and Frank Leary, "Megalopolis Transportation," *Space/Aeronautics*, New York, September 1967.
6. *Tomorrow's Transportation: New Systems for Urban Development*, Office of Metropolitan Development, Urban Transportation Administration, U. S. Department of Housing and Urban Development, Washington, D. C., 1968.
7. *Report and Recommendations to Governor Kemer and the 75th General Assembly* by the High Speed Rail Transit Commission, State of Illinois, Springfield, Illinois, March 1967.
8. *Proceedings of the Midwest High Speed Rail Transit Conference*, sponsored by the Illinois High Speed Rail Transit Commission and the Chicago Association of Commerce and Industry, Chicago, Illinois, 12 January 1967.
9. Rober B. Meverdwing, *Commercial N/STOL and the California Corridor*, paper presented at the National Aeronautic meeting, Society of Automotive Engineers, New York, 25–28 April 1967.
10. *Transit Expressway: Concept and Accomplishment*, Westinghouse Electric Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania, April 1967.
11. *R. Rollway*, General American Transportation Corporation, Chicago, Illinois, May 1966.
12. Joseph V. Foa, *High Speed Ground Transportation in Non-Evacuated Tubes*, TR AE 604, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, 1966.
13. Robert A: Wolf, *Elments of A Future Integrated Highway System Concept*, Transportation Research Department, Cornell Aeronautical Laboratory, Buffalo, New York, March 1965.
14. D. L. Atherton, *Study of Magnetic Levitation and Linear Synchronous Motor Propulsion*, Annual Report for 1972 by the Canadian Maglev Group, Department of Physics, Canadian Institute of Guided Ground Transport, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, December 1972.
15. *Surface Effects Ships for Ocean Commerce*, Final report on a study of the technological problems by the SESOC Advisory Committee convened by the Commerce Technical Advisory Board, U. S. Department of Commerce, February 1966, Washington, D. C.
16. *A Systems Analysis of Short Haul Air Transporation*, prepared for the U. S. Deparment of Commerce by the Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, August 1965, Part III, Contract C-88–65, Technical Report 65–1, PB 16 95 21.
17. *High Speed Rail Systems*, by TRW Systems Group, Contract No. C-353-66(Neg), for the Office of High Speed Ground Transportation, U. S. Department of Transportation, Washington, D. C., Febraury 1970.
18. *Personal Rapid Transit II*, a report of the 1973 International Conference on Personal Rapid Transit, edited by J. Edward Anderson and Sherry H. Romig, published at the University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota, Febraury 1974.
19. R. F. Kirby, K. U. Bhatt, M. A. Kemp, R. G. McGillivray, and Martin Wohl, *Para-Transit: An Assessment of Experience and Potential*, Final Report Volume II, Para-Transit Program Design, The Urban Institute, Washington, D. C., June 1974.
20. *Demand Responsive Transportation Systems*, Special Report No. 136, Highway Research Board, Washington, D.C., 1973.
21. R. F. Kirby et al., *Para-Transit: Neglected Options for Urban Mobility*, Para-Transit Program Design, The Urban Institute, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1974.
22. *Light Rail Transit*, Special Report 161, Transportation Research Board, National Research Council-National Academy of Sciences, Washington, D. C., June 1975.



عوامل في التشغيل
Factors in Operation

الفصل الثامن: عوامل مستوى الخدمة ـــ معايير الأداء

Level of Service Factors—Performance Criteria

الفصل التاسع: معايير الأداء ـــ عوامل نوعية الخدمة

Performance Criteria—Quality of Service Factors

الفصل العاشر: المحطات

Terminals

الفصل الحادي عشر: التحكم بالتشغيل

Operation Control

الفصل الثاني عشر: تكلفة الخدمة

Cost of Service

الفصل الثامن

عوامل مستوى الخدمة ـــ معايير الأداء
LEVEL OF SERVICE FACTORS PERFORMANCE CRITERIA

لقد تحدثنا، بإيجاز، في الفصلين الرابع والخامس عن الخواص التقنية لوسائل النقل والتي شملت الطفو والإستقرار والإرشاد والمقاومة وقوة الدفع وتأثير الارتفاع ومعدلات الميول. وفي هذا الفصل والذي يليه، سنبحث الخواص التي تتعلق مباشرة بطريقة استعمال وسائل النقل وتشغيلها. وترتبط هذه الخواص بمستوى الخدمة المطلوب لاستيعاب حجم الطلب وهي تشمل السعة والسرعة وسهولة الوصول والمرونة والتقاطر؛ كما ترتبط، أيضًا، بنوعية الخدمة من حيث السلامة والاعتمادية والسرعة والتسارع وزمن الانتقال من الباب إلى الباب والراحة وأسبابها والتأثير على البيئة والتلوث واستعمال الطاقة واستعمال الأرض، وأخيراً، التأثير على المجتمع.[1] فهذه العوامل جميعها، مع ما فيها من تداخل ضروري واضح، تتحد مع الخواص التي سبق ذكرها في الفصلين الرابع والخامس لتوجد معاً ما يعرف بمنفعة واسطة النقل. وفي إطار هذه الحدود، فقط، نستطيع تقويم اعتبارات أخرى، كالعوامل الإقتصادية، مثلاً، لتحديد منفعة تلك الخواص لوسائل النقل كما هو معروف وممارس فعليًا.

السعـــة
CAPACITY

إن المطلب الأساسي لأي نظام نقل هو قدرته على استيعاب حجم الطلب عليه. وتقاس السعة المرورية لنظام ما بكمية السلع أو عدد الركاب الذين يمكن نقلهم في الساعة أو في اليوم بين نقطتين معينتين بوساطة معدات وسيلة

---

(١) لاحظ أننا سنقيد استعمال لفظ «مستوى الخدمة» تقييدا أكبر لاحقا في هذا الفصل عند الحديث عن سعة الطريق.

النقل المعينة وتجهيزاتها الثابتة. وتعتمد السعة المرورية على سعة المركبة والسرعة وعدد المركبات أو القطارات أو الوحدات العاملة على المسار في الوقت نفسه، أي سعة المسار. وسنبحث في الجزء التالي التأثيرات المشتركة للسرعة وسعة المركبة.

سعة المركبة Vehicle Capacity. تعتمد سعة أية مركبة اعتماداً كبيراً على عدة عوامل تشمل تحميل العجلات وقوة الرفع أو الطفو والقدرة الحصانية وكيفية استغلال حيّزها المتاح. وكما شرحنا سابقًا، فإننا نرغب، عمومًا، في الحصول على أعلى نسبة ممكنة لوزن الحمولة إلى الوزن الفارغ للمركبة، ولكن عوامل راحة الركاب عند الحاجة لنقلهم قد تحد من السعة التصميمية. وتؤدي عدة عوامل دورًا في تحديد أبعاد المركبة من حيث عرضها وارتفاعها وتحديد حمولة عجلاتها، وهي تشمل قوانين النقل وأنظمته وعرض الطريق وقوة تحمله واقتصاديات التشغيل. وتحدد معظم الولايات الأمريكية أقصى عرض ممكن للمركبات على الطريق بـ ٢٤٤ سم(٩٦ بوصة). وتحدد ارتفاعات المركبات بمقدار الخلوص تحت المنشآت المرتفعة، مثل الجسور بـ ٣,٠٥ إلى ٣,٦٦ مترا (١٠ إلى ١٢ قدما) في الطرق القديمة، وبـ١٦ قدما (٤,٨٨ متر) في الطرق الاتحادية السريعة بين الولايات الأمريكية. وتحدد ارتفاعات معدات السكك الحديدية بارتفاعات الجسور والأنفاق التي تخترقها والتي يتراوح خلوصها العلوي بين ٦,٧١ و ٧,٣٢ متر (٢٢ إلى ٢٤ قدما) مقاسًا من سطح القضبان إلى أسفل العائق (الجسر أو السطح العلوي). أما عرض معدات السكك الحديدية فهو، عادة، بين ٣,٠٥ و ٣,٣٥ متر (١٠ إلى ١١ قدما)، إلا أن عربات قطارات الأنفاق قد لا يزيد عرضها على ٢,٤٤ إلى ٢,٧٣ متر(٨ إلى ٩ أقدام). وتقيد أبعاد الصنادل وزوارق القطر وسفن النقل في البحيرات العظمى بعمق القناة المائية وعرض الهويس وطوله. فنادرًا ما يزيد عرض الصنادل وزوارق القطر على ١٢,١٩ متر (٤٠ قدما). ويتراوح عرض الهويس بين ١٢,٢٠ و ٣٣,٥٣ متر (٦٦ إلى ١١٠ أقدام) وطوله بين ١١٠ و ٣٦٦ مترا (٣٦٠ و ١٢٠٠ قدم). وتحدّد أبعاد الهويس هذه عدد الصنادل التي يمكن أن تعمل في وقت واحد. وعمومًا، فإن سعات الطائرات والبواخر العابرة للمحيطات لا يقيدها من الناحية التصميمية سوى مدى توافر حجم الإركاب أو الشحن المجدي اقتصاديًا، مع وجود بعض القيود الأخرى، أيضًا، والمرتبطة بأعماق المرافئ والقنوات المائية وأبعاد الأهوسة، كما في قناة بنما. وكذلك، فإن قدرة تحمل الطريق أو السكة يمكن أن تحد من الأوزان الإجمالية للشاحنات وعربات السكك الحديدية.

وتُوجدُ مسألة تخزين البضائع مشكلات خاصة عند مناولة العناصر ذات الأشكال غير المنتظمة. وبالمقابل، فإن ناقلات البضائع السائبة مثل الصنادل وعربات السكك الحديدية القمعية وعربات الصهاريج وما يقابلها من مركبات تسير على الطرق تستطيع تحقيق أقصى استغلال لحيز المركبة. وفي عربات السكك الحديدية والطائرات، تؤدي اعتبارات راحة الركاب والنواحي الاقتصادية دورًا مهمًا في تحديد سعة تلك المركبات. وهذه الاعتبارات ظاهرة جدًا في اتخاذ قرار بوضع مقعدين أو ثلاثة مقاعد في خط عرض واحد داخل تلك المركبات. أما عربات النقل العام السريع فلا توفر إلا عددًا قليلاً محدودًا من المقاعد مع الاعتماد الكبير على وقوف الركاب بدلاً من

جلوسهم . [٢] ويمكن أن تستوعب عربات قطارات الضواحي مابين ٧٠ و ٨٠ مقعدًا في الطابق الواحد و ١٦٠ راكبًا جالسًا أو أكثر في العربات ذوات الطابقين .

طن صافي—ميل لكل مركبة—ساعة Net Ton Miles Per Vehicle Hour. إن الغرض من وجود مؤسسات النقل هو لإنتاج النقل . فالنقل هو المنتج الوحيد لهذه المؤسسات . ولا يمكن تخزين سلعة النقل بل يجب استهلاكها فور إنتاجها . ويعد المعدل الذي يمكن به إنتاج النقل أحد المقاييس لإنتاجية النقل والسعة ، ويُقاس بوحدة الطن الصافي – ميل لكل مركبة – ساعة ويساوي الوزن الصافي للمركبة بالطن مضروبًا في السرعة بالميل لكل ساعة . وعمليًا ، يجب تحريك الوزن الذاتي للمركبة ، أيضًا ، ولذلك ، فإن مقياس الوزن الإجمالي بالطن – ميل لكل مركبة – ساعة ، الذي يشمل وزن المركبة ووزن الحمولة ، يعد من المقاييس التي تهمنا . وبالنسبة لنقل الركاب ، فإن وحدة القياس تصبح راكب – ميل لكل مركبة – ساعة ويساوي عدد الركاب لكل مركبة مضروبًا في السرعة (ميل/ ساعة) .

ونستطيع تحقيق أقصى قيمة لمقياس الإنتاجية هذا بطرق عدة :

١ – بوضع أكبر قدر ممكن من أطنان الحمولة في وحدة النقل الواحدة ، كالقطار أو السفينة . وفي هذه الحالة ، يجب استعمال الخبرة في تعبئة الوحدة واستغلال قوتها الدافعة وقدرتها الحصانية إلى أقصى حد . وإذا لم يكن الطلب على النقل عاليًا فإنه يمكن تأخير انطلاق المركبة حتى يكتمل تحميلها إلى سعتها الوزنية . وهذه الممارسة تجعل إحصاءات تحميل الوحدات عالية ولكنها تقلل من مستوى الخدمة ، وذلك عن طريق تأخير حركة المنقولات وتسبب انزعاج العملاء وعدم رضاهم .

٢ – بجعل وسيلة النقل ذاتها واسعة بحيث نستطيع تعبئتها بأطنان عديدة من البضائع (أو بأعداد كبيرة من المسافرين) . إن الطائرة العملاقة بوينغ ٧٤٧ ما هي إلا أحد الجهود في هذا الاتجاه ولكن لا يمكن التوسع اللامتناهي في زيادة حجم الطائرات أو الشاحنات . فازدياد حجم المركبة وزيادة أحمال عجلاتها سيزيد تدهور حالة الطرق وخرابها ، كما يزيد مخاطر وقوع الحوادث للسيارات . وبالنسبة لوسائل النقل الأخرى مثل الصنادل وزوارق القطر والقطارات فإن القيود المفروضة عليها أقل بالرغم من وجود قيود لأبعاد الهويس وعمق المرفأ واتساع سكة الحديد . وتؤدي التكاليف المترتبة على التدهور المتزايد لحالة السكك الحديدية بسبب زيادة أحمال العربات الحديدية إلى إيجاد قلق متزايد لدى المسؤولين عن هذه الصناعة .

٣ – بزيادة سرعة المركبة . وهذا يتطلب الجمع بين الأحمال الخفيفة والسرعات العالية ، أو استخدام محركات طاقتها عالية جدًا نسبيًا . فالطائرات تمتاز بسرعاتها العالية إلى أقصى درجة ممكنة ، ثم تأتي بعدها السكك الحديدية والمركبات على الطرق ، ثم أخيرًا البواخر وزوارق القطر والأنابيب والسيور المتحركة .

---

(٢) تصنع شركة بوينغ فيترول ١٥٠ عربة خفيفة لمصلحة النقل العام السريع في خليج ماساشوسيتس وكذلك ٨٠ عربة مشابهة لخطوط بلدية سان فرانسيسكو . وتستطيع العربة الواحدة منها استيعاب ٥٢ راكبًا جالسًا ، وعند اعتبار الواقفين ، يمكن للعربة استيعاب حتى ٢١٠ أشخاص .

ونورد هنا أمثلة على إنتاجية وسائل النقل المختلفة. فباستخدام المتوسطات الإحصائية للقطارات لعام ١٩٧٣م، نجد أن القطار الواحد حملَ ١٨٤٤ طناً صافياً (٥, ١٦٧٢ طن متري صاف) بمعدل سرعة قدره ٢٠ ميلاً/ساعة (٢, ٣٢ كم/ ساعة)، أي أن إنتاجية النقل كانت بمعدل ٣٦٨٨٠ طناً صافياً - ميلً لكل قطار بضائع - ساعة.[٣] وكانت إنتاجية النقل بمقياس الوزن الإجمالي بالطن - ميل لكل مركبة - ساعة ٧٦٧٢٦ للفترة نفسها.

وبالنسبة لشاحنة مزدوجة (جرار ومقطورة) تزن ٤٠ طنًا (٣, ٣٦ طن متري) وتسير بسرعة ٥٥ ميلاً/ساعة (٥, ٨٨ كم/ ساعة)، فإن إنتاجيتها هي ٢٢٠٠ طن - ميل لكل شاحنة - ساعة. وتستطيع الشاحنة المفردة حمل ٥, ١ إلى ١٠ أطنان (٤, ١ إلى ١, ٩ طن متري) أو أكثر؛ أما الشاحنة المزدوجة (جرار ومقطورة واحدة) فتستطيع حمل حتى ٢٠ طنًا (٢, ١٨ طن متري). وهناك شاحنات لأغراض خاصة مثل تلك التي تنقل خام الحديد من المنجم إلى محطات تحميل سكة الحديد والتي تستوعب ما بين ١٠٠ و١٢٥ طناً من الحمولة (٧, ٩٠ إلى ٤, ١١٣ طن متري)، وعند سير تلك المركبات بسرعة ٢٠ ميلاً/ ساعة (٢, ٣٢ كم/ ساعة) فإن إنتاجيتها تتراوح بين ٢٠٠٠ و٢٥٠٠ طن صافي - ميل لكل مركبة.

وتستطيع أحدث سفن نقل البضائع السائبة في البحيرات العظمى حمل ٤٢٠٠٠ طن (٣٨٠٩٤ طناً مترياً) بسرعة ١٦ ميلاً/ ساعة (٧, ٢٥ كم/ ساعة) (لاحظ أن مصطلح العقدة البحرية نادرًا ما يستخدم ضمن مصطلحات البحيرات العظمى) بإنتاجية ٦٧٢٠٠٠ طن صافي - ميل لكل سفينة - ساعة. وتبلغ إنتاجية البواخر عابرة المحيطات التي تسع مابين ٤٠٠٠٠ إلى ١٤٠٠٠٠ طن من الحمولة (٣٦٢٨٠ إلى ١٢٦٩٨٠ طناً مترياً) وتسير بسرعة ١٥ إلى ٢٠ ميلاً/ ساعة (١, ٢٤ إلى ٢, ٣٢ كم/ ساعة) ما مجموعه ٦٠٠٠٠٠ إلى ٢, ٨٠٠٠٠٠ طن صاف - ميل لكل باخرة - ساعة.[٤]

ويبلغ إنتاج زوارق القطر على أساس السرعة التقليدية البالغة ٨ أميال/ ساعة (٩, ١٢ كم/ ساعة) لزورق يقطر عشرة صنادل وزن كل منها ٢٠٠٠ طن (١٨١٤ طناً مترياً) ما مجموعه ١٦٠٠٠٠ طن صاف- ميل لكل زورق قطر - ساعة. وتبلغ إنتاجية المقطورات الأكبر حجمًا وسرعةً، عندما يصل وزن الصندل إلى ٢٢٥٠٠ طن (٢٠٤٠٨ أطنان مترية) وتصل السرعة إلى ١٢ ميلاً/ ساعة (٣, ١٩ كم/ ساعة)، إلى نحو ٢٧٠٠٠٠ طن صاف - ميل لكل زورق قطر - ساعة كحد أقصى. والشائع هو استخدام مجموعة قطر تتراوح بين ٦ و ٨ صنادل، تنتجُ مابين ٩٦٠٠٠ إلى ١٢٨٠٠٠ طن صاف - ميل لكل زورق قطر - ساعة عند سيرها بسرعة ٨ أميال/ ساعة (٩, ١٢ كم/ ساعة).

وأما إنتاجية الأنابيب فمتباينة. ولكن، هناك عمليتان نموذجيتان يمكن الاستشهاد بهما. إن خطًا من الأنابيب بقطر ٨ بوصات يجري فيه السائل بسرعة ميل واحد/ ساعة يستطيع إنتاج ١٠٠٠ طن - ميل لكل محطة ضخ -

---

(٣) *Yearbook of Railroad Facts*, 1973 edition, Economics and Finance Department, Association of American Railroads, Washington, D. C., p. 44.

(٤) في ٢٤ نوفمبر ١٩٧٣م إستطاعت الباخرة اليابانية العملاقة «كوهنان مارو» تحميل ٣٠٠, ١٣٩ طن طويل من خام الحديد في ميناء «سيبت اليز» بمقاطعة «كويبك» الكندية. المرجع: Iron Ore، المجلد ١، العدد ٣، ٢٤ ديسمبر ١٩٧٣م.

ساعة. ويستطيع خط الأنابيب نفسه ولكن، بسرعة جريان ٤ أميال/ ساعة (أي باستخدام مضخات أقوى)، إنتاج ٤٠٠٠ طن صاف – ميل لكل محطة ضخ – ساعة. ويبلغ إنتاج خط أنابيب قطره ٢٤ بوصة يجري بسرعة ميل واحد/ ساعة ٩٣٠٠ طن صاف – ميل لكل محطة ضخ – ساعة. وينتج الخط نفسه ولكن، بسرعة جريان ٤ أميال/ ساعة، ٣٧٠٠٠ طن صاف – ميل لكل محطة ضخ – ساعة.

أما الطائرات فتمتاز بانخفاض سعتها التحميلية ولكنها تطير بتلك الحمولة بسرعات عالية. وتنتج طائرة (D-6A) التي تحلق بسرعة ٣٠٠ ميل/ ساعة (٤٨٢,٧ كم/ ساعة)، والتي تبلغ حمولتها ١٥ طنًا (١٣,٦ طن متري) ٤٥٠٠ طن صاف – ميل لكل طائرة – ساعة). أما طائرة الجلوب ماستر (Globemaster) التي تطير بالسرعة نفسها بحمولة ٢٥ طناً (٢٢,٧ طن متري) فتنتج ٧٥٠٠ طن صاف – ميل لكل طائرة – ساعة. وتستطيع طائرة (DC-8) المزودة بأربعة محركات توربينية نفاثة والتي تطير بسرعة قصوى قدرها ٥٩٨ ميلاً/ ساعة (٩٦٢ كم/ ساعة) بحمولة صافية قدرها ٣٥٠٠٠ رطل (١٥٨٩٠ كغم) إنتاج ١٠٦٦٥ طناً صافياً – ميل لكل طائرة – ساعة. وتملك الطائرات النفاثة الحديثة الأخرى إمكانيات مشابهة، حيث تستطيع طائرات الركاب النفاثة التحليق بسرعات تتراوح بين ٥٠٠ و ٦٠٠ ميل/ ساعة (٨٠٤ إلى ٩٦٥ كم/ ساعة)، فطائرة البوينج ٧٤٧ مصممة لحمل ما بين ٣٢٠ و ٤٩٠ راكبًا تستطيع بذلك إنتاج مابين ١٦٠٠٠٠ و ٢٩٤٠٠٠ راكب – ميل لكل طائرة – ساعة. ويعطي الجدول (١,٨) قيمًا نمطية لإنتاجية وسائل نقل كل من الركاب والبضائع.

وهذه الأرقام تتعلق، فقط، بزمن النقل الفعلي على الطريق ولا تشمل التأخيرات في المحطات الابتدائية ولا على التوقفات في الطريق أثناء الرحلة. وقد تكون إنتاجية وسائل النقل المستمر (كالأنابيب) والسفن قليلة عند قياسها بالطن – ميل ولكنها تعوض عن ذلك بالعمل المتواصل على مدار الساعة (٢٤ ساعة يوميًا)، وبالتالي، تقوم بالتوصيل المستمر للمنقولات. وبذلك، يمكن الحصول على إنتاجية نقل أعلى من تلك التي تحققها الناقلات المكونة من مجموعة من المركبات العالية الإنتاجية بذاتها ولكنها تتعرض لتأخيرات كبيرة في المحطات الابتدائية والمحطات التحويلية والمحطات النهائية. فعلى سبيل المثال، تستطيع عربة قطار بضائع قطع متوسط حركتها اليومية بالأميال في ساعة واحدة، فقط، بينما تقضي العربة من ٦٠ إلى ٩٠ ٪ من الـ ٢٣ ساعة المتبقية، عادة، في الحركة داخل المحطة أو تضيع بالتأخير.

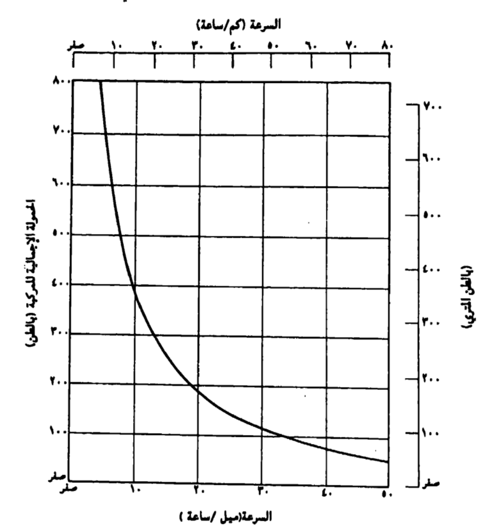
أداء المركبة Vehicle Performance. يقاس أداء المركبة لمعظم أنواع النقل بثلاثة مقاييس أساسية هي: المسافة المقطوعة مقاسة بالمركبة – ميل، والمسافة المقطوعة مقاسة بالطن الإجمالي – ميل، وزمن الرحلة على الطريق الذي يعبر عنه بعدد الساعات لكل رحلة أو بعدد الساعات لكل ١٠٠ مركبة – ميل. ويمكن حساب الوقت (T) بالساعات اللازمة لنقل حمولة ما لمسافة (S) ميل بوساطة محرك له قدرة حصانية معينة تعطي سرعة قدرها (V) ميل/ ساعة بالمعادلة ($T = S/V$). وأثناء حديثنا عن القوة الدافعة وقوى المقاومة في الفصول السابقة، رأينا أنه كلما ازداد وزن الحمولة قلت السرعة وزادت القيمة الدنيا لزمن الرحلة الواحدة أو القيمة الدنيا للزمن لكل ١٠٠ مركبة.

وفي الأمثلة التالية، نفرض أن لدينا مركبة برية وهمية، نوعًا ما، تسير على عجلات، وتزن فارغة ٣٠ طنًا (٢٧,٢ طنًا متري) ومساحة مقطعها ١٤٤ قدمًا مربعًا، وقدرة محركها ٢٥٠ حصانًا، وتسير فوق طريق خرساني

الجدول (٨,١): القيم النمطية لمقياس الإنتاجية بالطن الصافي – ميل لكل مركبة – ساعة.

الناقلة	وحدة القياس	الكمية العادية إلى الحد الأقصى			
السكك الحديدية	طن صاف – ميل لكل قطار – ساعة	٢٥٠٠٠	إلى	٣٦٠٠٠٠	وزيادة
الشاحنات	طن صاف – ميل لكل شاحنة – ساعة	١٢٦٠	إلى	٢٠٠٠	
سفن البحيرات العظمى	طن صاف – ميل لكل سفينة – ساعة	٢٠٠٠٠٠	إلى	٣٠٠٠٠٠	وزيادة
بواخر المياه العميقة	طن صاف – ميل لكل سفينة – ساعة	١٠٠٠٠٠	إلى	٢,٥٠٠٠٠٠	وزيادة
زوارق القطر	طن صاف – ميل لكل زورق قطر – ساعة	١٠٠٠٠٠	إلى	٢٧٠٠٠٠	
الطائرات المروحية	طن صاف – ميل لكل طائرة – ساعة	٤٥٠٠	إلى	٧٥٠٠	
الطائرات النفاثة	طن صاف – ميل لكل طائرة – ساعة	٨٠٠٠	إلى	١٠٦٠٠	
الطائرات العمودية	طن صاف – ميل لكل طائرة عمودية – ساعة	٢٠٠	إلى	٢٠٠.	
خطوط الأنابيب	طن صاف – ميل لكل محطة ضخ – ساعة	١٠٠٠	إلى	٣٧١٠٠	وزيادة
السيور المتحركة	طن صاف – ميل لكل سير – ساعة	٦٠٠	إلى	١٣٥٠٠	وزيادة
العربات الهوائية المعلقة سلكيا	طن صاف – ميل لكل سلك لكل ساعة	٥٠	إلى	٦٠٠	

أملس ومستو طوله ١٠٠ ميل (١٦١ كم)، ويفترض أن مقاومة الدروج لهذه المركبة تبلغ ٢٠ رطلاً لكل طن[٥] (١ , ٩ كغم لكل طن). ويبين الشكل (١ , ٨) العلاقة البسيطة بين الوزن الإجمالي للمركبة المحملة والسرعة .

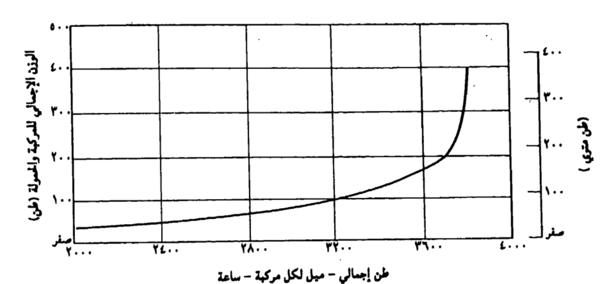


الشكل (١ ,٨). الحمولات الإجمالية القصوى للمركبات مع سرعات مختلفة عند قدرة حصانية ثابتة.

أما الشكل (٢ , ٨) فيبين تغير المسافة المقطوعة مقاسة بالطن الإجمالي – ميل لكل مركبة – ساعة لعدد من الأوزان المختلفة والسرعات المقابلة لها . فإن حاصل ضرب الوزن الإجمالي للمركبة × طول الرحلة ÷ عدد الساعات لكل رحلة = المسافة المقطوعة بالطن الإجمالي – ميل لكل مركبة – ساعة، أو بتعبير آخر

(٥) يجري حاليًا استخدام شاحنة مزدوجة (جرار ومقطورة) تزن فارغة ٣٠ طنًا (٢ , ٢٧ طن متري) وتتسارع حتى ٤٥ ميلاً/ ساعة (٤ , ٧٢ كم/ ساعة) عندما تكون فارغة وحتى ٣٠ ميلاً/ ساعة (٣ , ٤٨ كم/ ساعة) عندما تكون محملة بـ ٨٠ طنًا (٦ , ٧٢ طن متري) من الحمولة الصافية، وذلك بالقرب من مدينة بيوريا في ولاية إلينوي الأمريكية لنقل الفحم من المنجم إلى سكة الحديد.

$\left[GTM/_{T_s} = (W_e + W_c) \ \ s + T_s\right]$ حيث إن (GTM) هي المسافة بالطن الإجمالي – ميل، و (W_e) = وزن المركبة بالطن، و (W_c) = وزن الحمولة بالطن، و (S) = طول الرحلة، و (T_s) = الوقت اللازم لرحلة واحدة. وكلما ازدادت الحمولة تزداد المسافة المقطوعة بالطن الأجمالي – ميل لكل مركبة – ساعة حتى تصل السرعة إلى حد معين، إذ عند هذه النقطة يمكن أن يتسبب الانخفاض في السرعة الناتج عن زيادة الأحمال في انخفاض القيمة الكلية للطن الإجمالي – ميل لكل مركبة ساعة. وقد رسم الشكل (٢ ، ٨) على أساس استعمال المعدات والحالات نفسها كما هي في الشكل (١ ، ٨). لذا، فإن زيادة مدة الرحلة نتيجة انخفاض السرعة قد عُوّض بزيادة قوة دفع المحرك عند تلك السرعة البطيئة والتي تتيح حمولات أثقل.



الشكل (٨،٢). التفاوت في مقدار الطن إجمالي – ميل لكل مركبة – ساعة مع الأحمال المختلفة للمركبات.

وفيما يلي، نستعرض كيفية حساب عدد المركبات اللازمة لنقل حمولة معينة (بالطن) بين نقطتين، آخذين بعين الاعتبار زمن رحلة العودة إلى نقطة البداية والوقت الذي تمضيه المركبة في المحطات من أجل التحميل أو التفريغ. ويمكن الحصول على عدد القطارات أو الطائرات أو السفن أو الشاحنات اللازمة للقيام بذلك في أوقات محددة مختلفة عن طريق إجراء التعديلات المناسبة في معاملات الوقت.

عدد المركبات اللازمة لنقل حمولة صافية معينة بالطن
VEHICLES TO MOVE A GIVEN NET TONNAGE

(أ). افرض أن: W = عدد الأطنان الصافية المراد نقلها في اليوم.

W_g = عدد الأطنان الإجمالية، أي الحمولة الصافية بالطن زائدًا وزن المركبة، ويساوي

$$W_g = \left(W + {}^{2W}\!/_{R_p} \right)$$

حيث إن : $R_p =$ نسبة وزن الحمولة الصافي للوزن الفارغ ، والعامل (2) في المعادلة يمثل وزن المركبة في رحلة العودة وهي فارغة .

(ب) $W_d =$ الوزن الإجمالي بالأطنان الذي تنقله المركبة الواحدة في اليوم الواحد (أي خلال مركبة - يوم)، ويساوي

$$W_d = (W_n + 2W_e)\, N_t$$

حيث إن $W_n =$ وزن الحمولة الصافي بالطن

$W_e =$ وزن المركبة فارغة

$N_t =$ عدد الرحلات الدائرية لكل يوم لكل مركبة، وتساوي

$$N_t = \frac{24}{T_c + T_e + T_t}$$

حيث إن (ليوم كامل بـ ٢٤ ساعة) $T_c =$ زمن رحلة المركبة وهي محملة

$T_e =$ زمن رحلة العودة للمركبة وهي فارغة

$T_t =$ الزمن الذي تقضيه المركبة في المحطات للتحميل والتفريغ بالإضافة إلى زمن التأخير .

(ملاحظة : يمكن إجراء الحسابات السابقة أيضًا على أساس أن اليوم يعادل ٨ ساعات عمل ، وفي هذه الحالة ، يجب استبدال الـ ٢٤ في بسط الكسر بـ ٨) .

(جـ) ولكن : $\left(T_c = \frac{S}{V_l}\right)$ وأيضا $\left(T_e = \frac{S}{V_e}\right)$ بحيث

V_l = السرعة محملة ميل/ ساعة

V_e = السرعة فارغة ميل/ ساعة

S = طول الرحلة في اتجاه واحد بالميل

عندئذ :

$$T_c = {}^{S}\!\Big/\!\left(375 \times hp \times {}^{e}\!/_{R_l}\right) \quad \text{وأيضًا} \quad T_e = {}^{S}\!\Big/\!\left(375 \times hp \times {}^{e}\!/_{R_e}\right)$$

أو

$$T_c = {}^{R_l S}\!/_{(375 \times hp \times e)} \quad \text{وأيضًا} \quad T_e = {}^{R_e S}\!/_{(375 \times hp \times e)}$$

حيث إن :

R_l و $R_e =$ مقاومة الدفع للمركبة وهي محملة ثم وهي فارغة ، على الترتيب .

hp = القدرة الحصانية المتوافرة لكل مركبة.

e = الكفاءة الميكانيكية للمركبة

وبالتالي، فإن:

$$W_d = (W_n + 2W_e) \left[\frac{24}{\frac{(R_l + R_e)\ S}{375 \times hp \times e} + T_t} \right]$$

(د) عدد المركبات المطلوبة تساوي $\left(N = {}^{W_g}\!/_{W_d} \right)$

وبالتالي، فإن:

$$N = \left(W_n + {}^{2W}\!/_{R_p} \right) + (W_n + 2W_e) \left[\frac{24}{\frac{(R_l + R_e)\ S}{375 \times hp \times e} + T_t} \right]$$

لاحظ أن الحسابات السابقة تأخذ بالاعتبار معظم ما سبقت دراسته حتى الآن عن المركبة بما في ذلك مقاومة الدفع وطاقة الدفع ونسبة وزن الحمولة للوزن الفارغ. وهذه بدورها ترتبط بالسرعة وعامل التأخير العملي في المحطات وعلى الطريق.

أسلوب آخر للحساب ANOTHER APPROACH

(هـ) العدد الكلي للمركبات معبراً عنه بزمن التحميل:

$$Nt = T + \frac{S}{V_1} + \frac{S}{V_2}$$

حيث إن t = الوقت اللازم لتحميل مركبة واحدة

N = عدد المركبات اللازم لإتمام عملية التحميل باتزان

Nt = الزمن اللازم للمركبة للقيام برحلة دائرية واحدة

T = عامل زمني أو قيمة ثابتة تعبر عن زمن التحميل والتفريغ والاستعداد والتأخير للمركبة

S = المسافة لاتجاه واحد

V_1 = سرعة المركبة وهي محملة

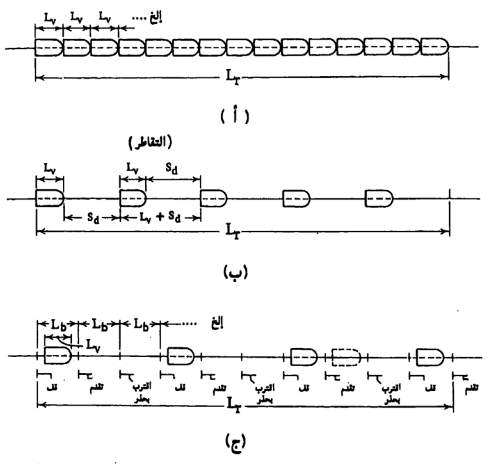
V_2 = سرعة المركبة وهي فارغة في رحلة العودة

ولذلك، فإن

$$N=\frac{T}{t}+\frac{S}{V_1t}+\frac{S}{V_2t}$$

وتفترض طريقة الحساب السابقة وجود نوع واحد من المحركات بقدرة واحدة وأن الطريق ذو مسار محدد بنظام تشغيل واحد للمركبات التي تسير بسرعة ثابتة نسبيًا مع عدم وجود حركة مرورية مزدحمة أو أي عوائق أخرى، أي بسعة مناسبة للمسار.

سعة المسار Route Capacity. تفترض مناقشتنا لسعة المركبة وجود سعة كافية للمسار لاستيعاب جميع المركبات المطلوبة. ولكن، يمكن أن تكون سعة المسار عاملاً مقيدًا لسعة نظام النقل. وقد يبدو لأول وهلة أن أقصى سعة تحدث في حالة تشبع المسار عندما تكون المركبات متراصة «المصدّ بالمصدّ» كما في الشكل (٨,٣ أ). و لأن حركة المركبات في هذه الحالة تكون بطيئة، فإن حجم التدفق المروري لن يكون كبيرًا كما في حالة زيادة الفجوة الفاصلة بين المركبات عند سرعة أعلى. انظر (٨,٣ ب). ومن هذا الشكل، تعرف الفجوة الفاصلة أو التقاطر كالتالي:



(أ) إشغال المسار، تشبع كامل (ب) إشغال المسار، تقاطر بين المركبات (جـ) إشغال المسار، نظام المجموعتين (٢ بلوك)

الشكل (٨,٣). سعة المسار النظرية.

$$H = L_v + S_d$$

حيث إن :

H = المسافة بين مقدمة مركبة ما ومقدمة المركبة التي تليها (أو من مؤخرة مركبة ما إلى مؤخرة المركبة التي تليها) وتسمى بالفجوة الفاصلة أو التقاطر .

L_v = طول المركبة بالأقدام التي يفترض أنها متساوية في جميع المركبات .

S_d = المسافة اللازمة لتوقف المركبة عند سير المركبة بسرعة (v) ميل/ ساعة بما في ذلك زمن ردة فعل السائق ومسافة الكبح ومعامل سلامة إضافي .

ويمكن حساب سعة المسار بتحديد طول عدد معين من المركبات التي يمكن أن تمر من نقطة معينة على المسار مقاسًا بالأقدام وتحديد الفجوة الفاصلة بين تلك المركبات التي تسير بسرعة (V) ميل/ ساعة ، ومن ثم، قسمة طول هذا الخط من المركبات على الفجوة الفاصلة ، أي :

$$C_V = \frac{5,280V}{H}$$

$$C_V = \frac{5,280V}{L_V + S_d}$$

حيث إن :

C_v = السعة مقاسة بعدد المركبات في الساعة

V = سرعة المركبات ميل/ ساعة

ويمكن بعد ذلك حساب السعة المرورية التحميلية مقاسة بالأطنان لكل ساعة أو بالأشخاص لكل ساعة ، وذلك بضرب القيمة (C_v) بسعة المركبة بالأطنان أو بعدد الأشخاص ، أي($C_t = C_V \times L_c$) حيث إن (L_c) = سعة المركبة . وتعتمد (L_c) على حجم المركبة وتحميلها . وتكون السعة الاستيعابية لنظام النقل مساوية لحاصل ضرب عدد أميال الطريق × السعة المرورية التحميلية مقاسة بعدد الأشخاص للميل الواحد أو بالأطنان للميل الواحد .

وتختلف قيود الفجوة الفاصلة لخط النقل العام السريع أو للسكة الحديدية نوعًا ما حيث تستخدم أنظمة الإشارات (عادة، الآلية التشغيل) . ويبين الشكل (٣ ,٨جـ) الإشارات المتتابعة المعتادة التالية «قف» و«اقترب» و«خال من العوائق – استمر» . ويسمى نظام الإشارات هذه بنظام البلوك الثنائي . وللمحافظة على السرعة القصوى المصرح بها مع أدنى فجوة فاصلة بين القطارات ، يجب تخصيص جزئين من أجزاء السكة (بلوكين) للمركبة الواحدة – الجزء الذي تحتله المركبة والجزء الذي خلفه ، أي الجزء بين إشارة «قف» وإشارة «اقترب» . وبذلك فإن الفجوة الفاصلة تساوي، الآن، مقدار ($2L_b$)، حيث L_b هو أدنى طول للجزء (أو للبلوك) ويجب أن يساوي، في الأقل، أقصى مسافة وقوف لأقصى سرعة مصرح بها . أما أنظمة الإشارات الأخرى غير نظام البلوك الثنائي ، فإن الفجوة الفاصلة فيها تعتمد على كل من السرعة المطلوب المحافظة عليها ، وعدد الأجزاء (البلوكات) بين إشارة «قف» وإشارة «استمر»، والطول (L_b) المبني على أقصى مسافة تباطؤ لعديد من انخفاضات السرعة التي تتم . وتنطبق هذه الاجراءات على كل من السكة المفردة والسكة المزدوجة .

وعلى الصعيد العملي، فعادة ما يكون الوضع غير منتظم، فالسرعات ليست منتظمة، ومسافات الوقوف تتغير، وأطوال المركبات ليست متساوية. ويمكن للمرء الحصول على قيمة تقريبية لـ (C_p) باستعمال قيم متوسطة للمتغيرات التي في المعادلة الخاصة بحسابها. وتعرض الأجزاء التالية أساليب محددة لحل هذه المسألة لعديد من وسائل النقل الشائعة.

السعة النظرية للسكة Theoretical Track Capacity. إن حسابات سعة السكة لها تطبيق مباشر في السكك الحديدية، ولكن يمكن، أيضًا، تطبيقها في وسائل النقل الأخرى. ويمكن التعبير عن السعة النظرية للسكة (C_t) على أساس مدة ٢٤ ساعة بوحدة قطار – ساعة وهذه تساوي المقدار ($24n$) حيث إن (n) هي عدد مقاطع السكة المتاحة لحركة القطار. وهي تقع في الخط المفرد بين التفريعات الجانبية للسكة (التي توضع من أجل التجاوز أو فصل الحركة المتعاكسة) أي أن (n) = عدد التفريعات الجانبية للسكة التي تبعد عن بعضها مسافات مكانية أو مسافات زمنية متساوية. أما السكك المزدوجة، فتنطبق عليها الحالة المبينة بالشكل (٨،٣ ب) مع افتراض أن الفجوة الفاصلة تساوي القيمة ($2L_t$) حيث (L_t) هو طول القطار بالأقدام، أي أنه يفترض أن الطول (L_t) يوفر مسافة وقوف مناسبة. وبالتالي، فإن:

$$C_t = \frac{L_r + L_o}{2L_t} \times 5280 \times 24$$

حيث إن:

L_r = طول الطريق (السكة) بالأميال

L_o = طول السكة الرئيسة في الاتجاه الآخر

L_t = طول القطار بالأقدام

وعند استعمال نظام الإشارات الثنائي البلوك كما في الشكل (٨،٣ جـ)، فإن:

$$C_t = \frac{L_r + L_o}{2L_b} \times 5280 \times 24$$

حيث L_b = طول البلوك

وطبعًا فإن المقام في المعادلة أعلاه يصبح ($3L_b$) أو ($4L_b$) لنظام إشارات ثلاثي أو رباعي البلوك، على الترتيب.[٦]

الرسم البياني للأداء (قطار – ساعة) Train - Hour Performance Diagram. تتحد عدة عوامل لتحديد الوقت اللازم لقطع مسافة ١٠٠ ميل، مثلاً، كعوامل الطقس وحمولة القطار وقدرته الحصانية وعدد التوقفات عند المحطات

(٦) *A. R. E. A. Bulletins*, No. 462, November 1946 and A. R. E. A. Proceedings, Vol. 48, 1947, pp. 125-144.

خلال الرحلة ومقدرة السائق . ولو أخذنا عينة كبيرة من أداء القطارات، من سجلات رحلات القطارات مثلاً، فسنجد أن هناك بعض القطارات قد قطعت مسافة الرحلة في أقل وقت ممكن، بينما استغرقت الرحلات الأخرى وقتًا أطول تحت ظروف غير مثالية، وذلك بسبب العوامل السابقة . وقد تكون أزمان بعض هذه الرحلات قريبة من الحد الأدنى فيما يبعد جزء آخر منها كثيرًا عن الحد الأدنى . ولكن معظم أزمان الرحلات ستتركز حول المتوسط العام لأزمان الرحلات جميعها . وبما أن التفاوت في الظروف والأداء غالبًا ما يكون أمرًا طارئًا لا يمكن التنبؤ به، فإنه يمكن ملاحظة أن الرسم البياني لأزمان الرحلات مقابل عدد المركبات أو تكرارها يشابه، إلى حد كبير، شكل نصف منحنى التوزيع الاحتمالي الطبيعي، وهذا التشابه أدى إلى تطوير الرسم البياني للأداء (قطار - ساعة) . الشكل (٤ ,٨) .

يحتوي الرسم البياني للأداء (مركبة - ساعة) على عينة من الرحلات، مثلاً، ١٠٠ رحلة مرتبة ومرسومة حسب الوقت الذي استغرقته كل رحلة كما هو مبين في الشكل (٤ ,٨) . [٧] (ملاحظة : إن استعمال منحنى الاحتمالات يسهل الحسابات . وقد بين د. مصطفى ك. ك. مصطفى علي أن هناك طريقة تمثيل أكثر دقة، وذلك عن طريق إيجاد التكامل لمنحنى الاحتمالات) . [٨] ولكن القيام برسم البيانات الفعلية من نتائج الاختبارات ومن سجلات تسيير القطارات غالبًا ما يكون بسهولة معالجة البيانات نفسها من أجل رسم المنحنى رياضيًا .

وعندما تزيد الكثافة المرورية، وخاصة عند الاقتراب من السعة القصوى للمسار، فإن مشكلة التداخل المروري مهمة جدًا في التسبب بوجود التأخيرات وزيادة الحد الأدنى لزمن الرحلة وكذلك زيادة متوسط زمن الرحلة . ويجب استرجاع ما ذكرناه سابقًا من أنه كلما قلت حمولة المركبة زاد عدد المركبات اللازمة لنقل حمولة معينة مما يسبب تداخلاً مروريًا . وكذلك، فإن القطارات المحملة البطيئة الحركة ربما تكون مصدرًا إضافيًا للتداخل المروري والتأخير . ويؤدي التداخل المروري دورًا مهمًا في عمليات تشغيل القطارات خصوصًا على الخطوط المفردة السكة وعلى خطوط النقل العام السريع .

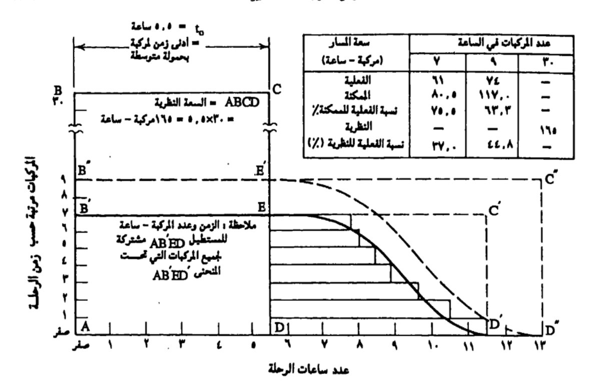
السعة الفعلية للسكـــة Actual Track Capacity. يمثل المستطيل (ABCD) في الشكل (٤ ,٨) السعة النظرية لسكة ما قيمتها ١٦٥ قطاراً - ساعة والتي حُسبت باستعمال الطرق السابق ذكرها . إن الحد الأدنى لزمن الرحلة على هذا الخط هو ٥ ,٥ ساعة . وإذا قسمنا ١٦٥ على ٥ ,٥ نحصل على ٣٠ قطارًا وهي تمثل أقصى سعة مرورية نظرية للخط .

---

(٧) طوّر السيد كيمبال (Kimbal) الذي يعمل مهندساً استشارياً في شركة جنرال إلكتريك هذا المفهوم للرسم البياني للأداء (قطار - ساعة) خلال دراسته لأداء القطارات . ومن الواضح أن هذا المفهوم ينطبق على أي عملية نقل أخرى . ويمكن الرجوع إلى دراسة السيد كيمبال في المراجع التالية :

A.R.E.A. Bulletin, Vol. 47, No. 462, November 1947, pp. 125-144 (and ensuing proceddings); in Track Capacity and Train Performance, a report of a subcommittee, Mr. E. E. Kimball, Chairman of the A. R. E. A. Committee 16 on Economics of Railway Location and Operation; and in earlier studies and reports noted herein.

(٨) Mostafa K. K. Mostafa, *Actual Track Capacity of a Railroad Division,* Ph.D. thesis, University of Illinois, Urbana, Illionos, 1951.



سعة المسار (مركبة – ساعة)	عدد المركبات في الساعة		
	٧	٩	٣٠
الفعلية	٦١	٧٤	—
الممكنة	٨٠,٥	١١٧,٠	—
نسبة الفعلية للممكنة٪	٧٥,٥	٦٣,٣	—
النظرية	—	—	١٦٥
نسبة الفعلية للنظرية (٪)	٣٧,٠	٤٤,٨	—

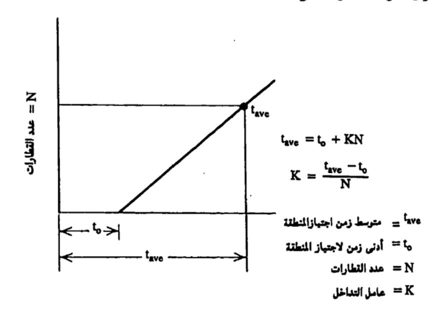
الشكل (٤,٨). رسم بياني للأداء بالقطار – ساعة.

(After E.E. Kimball and The A.R.E.A.)

ونظرًا للتداخل المروري ولأسباب أخرى، فلن تستطيع جميع القطارات إكمال هذه الرحلة في ٥,٥ ساعة. وإذا افترضنا أنه يجري تشغيل سبعة قطارات على الخط، فإنه يمكن لقطار واحد أن يقطع المسافة في ٨ ساعات، وآخر في ٨,٢ ساعة وهكذا، وربما يحتاج قطار آخر إلى ١١,٥ ساعة لإكمال الرحلة. إن المسافة المبينة تحت المنحنى (*AB'ED'*) = ٦١ قطاراً – ساعة وهي تمثل السعة الفعلية المستغلة. وهناك سعة «كامنة» محصورة بالمستطيل (*AB'C'D'*) = ٨٠,٥ ساعة. وإذا جرى تشغيل تسعة قطارات فإن التداخل المروري بين القطارات سيزيد وقت الرحلة لمعظم القطارات معطيًا سعة فعلية قدرها ٧٤ قطاراً – ساعة والمحصورة تحت الشكل (*AB"E'D"*) وسعة كامنة قدرها ١١٧ قطاراً – ساعة المحصورة تحت المستطيل (*AB"C"D"*). وإذا جرى تشغيل ١٠ قطارات فإن أطول زمن لرحلة القطار سيصبح ١٥ ساعة والسعة الكامنة ١٥٠ قطاراً – ساعة. ولكن لو حاولنا تشغيل ١١ قطارًا فإن أطول زمن لرحلة القطار سيكون ١٦ ساعة بسعة كامنة قدرها ١٧٦ قطاراً – ساعة. ولأن هذه السعة الكامنة أكبر من السعة النظرية القصوى التي قدرها ١٦٥ قطاراً – ساعة، فيتبع من ذلك أن ١٠ قطارات هو أقصى عدد من القطارات التي يمكن تشغيلها تحت الظروف المعطاة.

وقدّم السيد كيمبال (Kimball) أثناء تحليله لمسألة تشغيل القطارات، نظرية مدعمة بالبيانات الإحصائية تقول إن متوسط زمن التداخل المروري تحت مجموعة من الظروف المعينة يتناسب مع عدد القطارات العاملة في وقت

معين . وبناء على هذه النظرية طوّر معادلة رياضية خطية بسيطة تأخذ الصيغة ($T_{ave} = T_o + KN$) حيث إن (T_{ave}) = متوسط زمن الرحلة ، و (T_o) = أقل زمن للرحلة (أي الوقت اللازم في حال عدم وجود تداخل مروري في الظروف المثالية) ، و (N) = عدد القطارات خلال وقت معين ، و (K) = عامل التداخل المروري الذي يعتمد على سعة السكة وظروف أخرى متنوعة . انظر الشكل (٨,٥) .



الشكل (٨,٥). تأثير تداخل حركة القطارات على متوسط زمن السير.
(After E.E. Kimball and The A.R.E.A.)

أما الباحث أ . س . لانغ (A. S. Lang) فيقترح علاقة غير خطية بدلاً من علاقة الخط المستقيم بإعتبارها أقرب للصحة ، وهذه العلاقة متوافقة مع رسومات كيمبال للبيانات الأصلية عند رسمها على شكل نقاط منتشرة .[٩]

وتأخذ العلاقة التي اقترحها لانغ الصيغة التالية :

$$T_{ave} = t_o + K\left(\frac{N}{2}\right)\left(T_{ave}/24\right)$$

أو

$$T_{ave} = t_o + \frac{K\,N\,T_{ave}}{48}$$

(٩) حسب الرسالة التي بعث بها أ . س . لانغ الذي كان أستاذ هندسة النقل في معهد ماساشوسيتس للتقنية في كامبريدج بولاية ماساشوسيتس الأمريكية إلى المؤلف بتاريخ ٤ أغسطس ١٩٥٨م .

وبالتالي

$$T_{ave} = \frac{t_o}{\left(1 - \frac{KN}{48}\right)}$$

الحجم الأمثل للقطار أو المركبة Optimum Train (Vehicle) Size. البحث في الفقرات التالية مبني على طريقة حساب كيمبال الأبسط رغم أنها أقل دقة. وهذه الطريقة قابلة للتعميم والتطبيق على وسائل النقل الأخرى. وقد تطرقنا سابقًا للعوامل التي تتحكم بقيمة (t_o). فالرمز (t_o) في معادلة كيمبال هو الرمز (T_t) نفسه الذي استعمل في الصفحات السابقة أثناء الحديث عن عمليات التشغيل المثالية النظرية. وعند اعتبار أن الزيادة في عدد القطارات الخفيفة الحمولة، أو الانخفاض في سرعة القطارات المحملة هي عوامل لإعاقة المرور وتداخله، فإنه يجب تحديد حمولة القطار وسرعته اللتين تعطيان أقل زمن لكل رحلة (أو لكل ١٠٠ قطار – ميل).

ويمثل الشكل (٦ ,٨ أ) العلاقة الخطية بين الوقت اللازم للقيام برحلة ما بالساعات، وذلك لحمولات مختلفة للقطار أو للمركبة – كما شُرح سابقًا تحت عنوان «أداء المركبة». إن متوسط الحمولة التي قدرها ٢٠٠ طن (٤ ,١٨١ طن متري) بزمن محسوب للرحلة قدره ٥ ,٥ ساعة يمثل الأداء المثالي نظريًا(t_o = ٥ ,٥ ساعة) ويشار إليه بالنقطة (b) في الشكل.

ويعرض الشكل (٦ ,٨ ب) العلاقة بين عدد القطارات اللازمة لنقل ١٠٠٠٠ طن (٩٠٧٠ طناً مترياً) في اليوم، وذلك باستعمال عدد الساعات اللازمة للرحلة الواحدة وحمولة القطار الواحد الموضحة في الشكل (٦ ,٨ أ).

أما الشكل (٦ ,٨ جـ) فيبين أن معدل الزمن للرحلة الواحدة المستخرج من نتائج الاختبارات أو من سجلات تسيير القطارات هو ٨ ساعات وليس ٥ ,٥ ساعة. وهذا يشكل زيادة ٥ ,٢ ساعة بسبب التداخل المروري. وقد رسمت النقطة (b') على الشكل ومدت إلى النقطة (t_o) = ٥ ,٥ ساعة ورسم خط الأداء بوصل هاتين النقطتين. كما رسمت خطوط الأداء تحت حالات التداخل المروري لعدد آخر من أوزان المركبة المبينة بالشكل (٦ ,٨ أ)، وذلك برسم الزمن الأدنى للرحلة في الشكل (٦ ,٨ أ) على الشكل (٦ ,٨ جـ) ورسم خطوط الأداء عبر هذه النقاط بحيث تكون موازية لخط الأداء المتوسط الذي يمر بالنقطة (b').

ولتحديد كيفية تغير متوسط زمن الرحلة مع الأوزان المختلفة للقطار أو المركبة، ومع الكثافات المرورية لحجم مروري معين، أسقط خطوطا رأسية من عدد المركبات (الشكل ٦ ,٨ ب) إلى خطوط الأداء المقابلة لها في الشكل (٦ ,٨ جـ) وحدد عليها النقاط التي تقابل عدد المركبات نفسه. وبتوصيل تلك النقاط مع بعضها، نحصل على المنحنى (EF) الذي يشير إلى أن أقل زمن ممكن للرحلة هو ٧,٧٥ ساعة والذي يمكن تحقيقه باستخدام حوالي ٥٥ قطاراً كل منها يزن ١٧٥ طنًا. وهذا يمثل الحمولة المثلى للقطار لتحقيق أقصر زمن للرحلة. وإذا كان الهدف هو تقليل إجمالي عدد قطار – ساعة إلى أدنى حد ممكن فإنه يمكن اختيار النقطة السفلى F على أساس أنها تعطي أقصى حمولة لكل قطار.



(أ) الحمولة الإجمالية مقابل عدد ساعات الرحلة

(ب) عدد المركبات مقابل عدد ساعات الرحلة

(جـ) الحمولة المثلى للمركبة التي تعطي أقل عدد من ساعات الرحلة

الشكل (٨,٦). الحمولة المثلى للمركبة.

(After E.E. Kimball and The A.R.E.A.)

سعة النقل العام السريع Rapid Transit Capacity . تتسم عمليات النقل العام السريع بالانتظام إلى درجة معقولة . فالقاعدة فيها هي استعمال أحجام منتظمة للقطارات تتحرك بفجوات فاصلة منتظمة، أيضًا، في الأقل، خلال أوقات الفترات الرئيسة على مدار اليوم . ويمكن حساب عدد الأشخاص الذين يمكن نقلهم في الساعة باستخدام المعادلة :

$$Q=\frac{60 K n L_c}{H}$$

حيث إن :

Q = السعة مقاسة بعدد الأشخاص لكل ساعة لكل سكة .

K = معامل التحميل، أي عدد الركاب لكل قدم من طول القطار، ويساوي حاصل قسمة السعة على طول العربة؛ وتتراوح قيمة هذا العامل بين ٢ و ٤ ، حيث إن القيمة الأخيرة تنطبق في حالة وجود نسبة عالية من الواقفين أو في حالة استعمال العربات ذات الطابقين .

L_c = طول العربة الواحدة بالقدم .

n = عدد العربات في القطار .

H = الفجوة الفاصلة بين القطارات المتتابعة أو التقاطر مقاسة بالدقائق .(١٠)

وكما سبق وشرحنا، فإن الفجوة الفاصلة بين القطارات أو التقاطر تعتمد على طول القطار والسرعة والمسافة اللازمة للوقوف . كما يتأثر بزمن الوقوف في المحطة، وعدد التوقفات عند المحطات والوقت المستغرق في التسارع والتباطؤ مما يؤدي إلى عدم انتظام السرعة . وعند اعتبار التوقفات عند المحطات، يصبح التقاطر (بالثواني) :

$$h=T+\frac{L}{v}+\frac{v}{2a}+5.05\frac{v}{2d}$$

حيث إن :

T = مدة انتظار القطار بالمحطة مقاسة بالثواني، وهذه المدة تختلف باختلاف حجم حركة الركاب اللازم إركابهم أو تنزيلهم، وكذلك تختلف باختلاف رصيف المحطة وطريقة تشغيله .

v = السرعة القصوى لحركة القطار مقاسة بالقدم/ ثانية .

L = طول القطار = $(n \times L_c)$

a = معدل التسارع مقاسًا بالقدم/ ثانية مربعة .

d = معدل التباطؤ مقاسًا بالقدم/ ثانية مربعة .

L/v = الوقت اللازم لاجتياز القطار مسافة تساوي طوله .

وإذا لم يوجد أي محطات على طول قطاع معين من السكة فإن المعادلة أعلاه تصبح

(١٠) After Lang and Soberman in Urban Rail Transit, MIT Press, Cambridge, Massachausetts, 1964, pp. 61-63.

$$h = t + \frac{L}{v} + 2.03\frac{v}{d}$$

حيث إن:

t = زمن ردة فعل السائق والوقت الذي يستغرقه لكبح حركة القطار مقاسًا بالثواني، ويتراوح عادة بين ١ و ٣ ثوان.

وتضم بدائل التصاميم التي تتعلق بالسعة خيارًا بين استخدام قطارات قصيرة وبطيئة تتردد على فترات قصيرة أو قطارات أطول وأسرع ولكن ترددها أقل. ويوضح الفصل التاسع بالتفصيل العلاقة بين المسافة بين المحطات وزمن الوقوف في المحطة وسرعة القطار. انظر الجدول (٨-٧) الذي يحتوي على قيم للسعة لكل سكة (للحركة في اتجاه واحد) عند سرعات مختلفة ولأطوال مختلفة للقطار. وهذه القيم العالية للسعة التي تتراوح بين ٤٤٠٠٠ و ٨٢٠٠٠ راكب بالساعة لا يمكن تحقيقها إلا إذا كان هناك طلب عالٍ لاستعمال السكة الحديدية، كما أنها تتطلب تكاليف رأسماليةً وتشغيلية مرتفعة.

ويلزم عدم الاعتماد الكلي على الحلول النظرية والرياضية، بل يجب تطعيمها بمعايير المشاهدة والخبرة. ويجب ألا يزيد عدد القطارات التي يجري تشغيلها على خط سكة حديدية مفرد عمّا يتراوح بين ٢٥ و ٣٠ قطارًا خلال ٢٤ ساعة في حالة عدم وجود نظام للإشارات والاعتماد على سائقي القطارات، فقط، أو في حالة وجود نظام إشارات يدوي. أما في حالة استخدام نظام آلي للإشارات فيمكن زيادة العدد إلى ٤٠ أو ٥٠ قطاراً في اليوم. وقد ذكر السيد لوري (Loree) أنه يمكن استخدام ٦٠ قطارًا في اليوم على خط سكة مفرد ولكن دون أن يحدد نوع التشغيل أو الإشارات.[١١] وباستخدام نظام تشغيل من المحطة إلى المحطة، فإن الخطوط الحديدية لجنوب أفريقيا تحرك ما يتراوح بين ٣٠ و ٤٠ قطارًا يوميًا على سكة مفردة، ولكن تداخلات حركة القطارات تتسبب، احيانًا، حدوث تأخير. ويزيد إدخال نظام التحكم المروري المركزي السعة بنسبة ٥٠٪ إلى ١٠٠٪، مما قد يمكن من تشغيل ٦٠ قطارًا أو أكثر على سكة مفردة خلال ٢٤ ساعة تحت ظروف جيدة. وتستطيع الخطوط الرئيسية المزدوجة السكة تشغيل حتى ٩٠ إلى ١٠٠ قطار يوميًا باستخدام نظام الإشارات اليدوي أو الآلي، وحتى ٢٠٠ قطار في اليوم إذا كان التحكم مركزيًا. وتبرز الرغبة لاستخدام خط حديدي بأربع سكك عندما يكون هناك حاجة لتشغيل ١٥٠ قطاراً حتى بنظام الإشارات الآلي (ولكن بدون تحكم مركزي). وعلى سبيل المثال، فإن خط حديد بنسلفانيا ذي الأربعة سكك (أو أكثر في بعض المواقع) يُسَيِّر مابين ٣٤٠ و ٣٦٠ قطارًا يوميًا، ويشغل نظام قطارات الأنفاق في نيويورك أكثر من ٤٠٠ قطار في اليوم. وتحتاج قطارات الركاب تقريبًا ضعف السعة التي تحتاجها قطارات البضائع عندما يعمل الاثنان على السكة نفسها. وعندما تسببّ التداخلات المرورية حدوث تأخيرات للقطارات باستمرار مما يجعلها تفشل في المحافظة على جداولها الزمنية، فإن ذلك يدل على أنه قد تم تجاوز سعة الخط الحديدي.

---

(١١) L. F. Loree, *Railroad Freight Transportation,* 1931 edition, D. Appleton and Company, New York, p. 25.

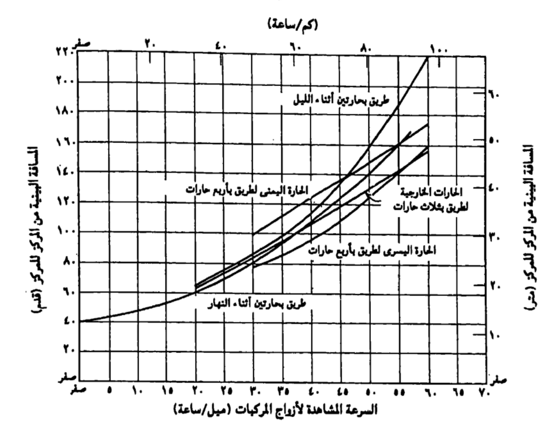
سعة الطرق Highway Capacity. يمكن حساب سعة الطريق حساباً تقريبياً باستعمال المعادلة التي بحثت سابقًا وهي: $\left[C = 5280 \times V/(L_v + S_d)\right]$. وتعد مقدرة السائق الذاتية على تحديد ماهية المسافة الآمنة للوقوف أحد العوامل المهمة التي تحد من استعمال هذه المعادلة. ويمكن تعريف سعة الطريق بأنها عدد السيارات التي تمر عبر نقطة معينة خلال ساعة من الزمن، وتختلف قيمتها باختلاف السرعة والفجوة الفاصلة أو التقاطر. ويميل السائق لزيادة الفجوة الفاصلة كلما زادت سرعة سيارته، كما أن السرعة البطيئة تجعل الفجوة الفاصلة بين السيارات قريبة، ولكن ذلك يؤدي إلى قلة عدد السيارات التي تمر من نقطة محددة في الساعة الواحدة. كما أن السرعة العالية تقلل عدد السيارات المارة في الساعة بسبب بعد المسافة بين السيارات المتتابعة. ولذا، فلابد من وجود سرعة متوسطة أو مثلى تسمح لأكبر عدد من السيارات أن تمر من نقطة ما خلال ساعة واحدة. وقد بينت الدراسات التي أجراها مجلس أبحاث الطرق الأمريكي أن السعة النظرية القصوى لحارة واحدة في الطريق هي حوالي ٢٠٠٠ مركبة في الساعة عند سرعة ٣٠ ميلاً / ساعة وتحت أحوال مثالية.[١٢] انظر الشكل (٨,٧). ويجب التنويه هنا بأن السعة القصوى ليست مرادفة للكثافة القصوى إذ إن الكثافة القصوى تؤدي إلى تخفيض سعة الطريق إلى درجة الاختناق المروري. وتتحقق القيمة القصوى للكثافة عندما يكون هناك عدد كبير من المركبات إلى درجة التوقف الكامل لحركة المرور. انظر الشكل (٨,٣أ). وفي الحالات القليلة التي تتجاوز فيها سعة الحارة الواحدة للطريق ٢٠٠٠ مركبة في الساعة، فإن ذلك ربما يمثل عملية مرورية غير آمنة، أي أن الفجوة الفاصلة تكون صغيرة جدًا، وكذلك مسافة الوقوف، مما يمكن أن يؤدي إلى حدوث سلسلة من الاصطدامات الارتدادية لأعداد كبيرة من المركبات. ويمكن لطريق مقسوم بأربع حارات أن يستوعب ٨٠٠٠ مركبة في الساعة، أما الطريق بثلاث حارات فيستوعب ٤٠٠٠ مركبة في الساعة، وذلك تحت الأحوال المثالية. وتنطبق السعة المثالية للحارة الواحدة التي مقدارها ٢٠٠٠ مركبة في الساعة، أيضًا، على الطرق المفردة ذوات الحارتين بحيث تكون الحركة في اتجاه معين راجحة على الاتجاه الآخر، مما يمكن من وجود فجوات كافية في الاتجاه القليل الحركة من أجل التجاوز.[١٣] وهذه القيم خاصة لحالات التدفق الحر المستمر والتي نادرًا ما توجد فعليًا بسبب حركة المركبات على شكل مجموعات أو أرتال، وانتظامها في صفوف خلف بعضها.

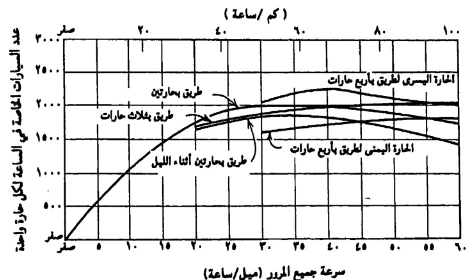
وتقل السرعة مع ازدياد الحجم المروري و مع بقاء العوامل الأخرى ثابتة. وفي الواقع، لا يقوم جميع السائقين بقيادة سياراتهم بالسرعة نفسها. وإذا أردنا أن نمنع المركبة الأبطأ سرعة من التحكم بسرعة حركة مجموعة من المركبات خلفها فيجب إعطاء الفرصة للمركبات الأسرع بتجاوز المركبات الأبطأ سرعة. وعادة ما يتم ذلك بإنشاء حارة أخرى في الاتجاه نفسها كما هي الحالة في الطرق ذوات الأربع حارات (حارتين في كل اتجاه)، أو في الحارة الراجحة لطريق

---

(١٢) O. K. Normann and W. P. Walker, *Highway Capacity Mannual,* Bureau of Public Roads, U. S. Department of Commerce, Washington, D. C., 1950, p. 27.

(١٣) *Highway Capacity Mannual* 1965, Highway Research Board, Special Report 87, National Academy of Science, National Research council, Publication 1328, Washington, D. C., 1965, p. 76, Table 4.1.





الشكل (٨,٧). السعة القصوى للحارة المرورية.

(*Traffic Capacity Manual,* Bureau of Public Roads, Department of Commerce, Washington, D.C., Courtesy of L. I. Hewes and C.H. Oglesby, *Highway Engineering,* Wiley, New York, 1954, p. 144, Figures 3 and 4.)

مفرد ذي حارتين متعاكستي الاتجاه والحركة في الحارة الأخرى المقابلة قليلة . ولكن عندما تزداد الكثافة المرورية إلى درجة تنعدم فيها إمكانية التجاوز الآمن ، فعندها ، يجبر الجميع للتحرك بالسرعة نفسها تقريبًا وتقترب السرعة النسبية بين المركبات إلى الصفر . وفي هذه الحالة ، نكون قد وصلنا إلى الكثافة المرورية الحرجة أو المثلى . وأي زيادة في الكثافة المرورية ستؤدي إلى نقص في السرعة وفي الحجم المروري .

وتشمل الحالات المثالية لحركة المرور الحرة ما يلي : أن يكون عرض الحارة ١٢ قدمًا (٣,٦٦ متر) ، وعرض كتف الطريق الخالي من العوائق الجانبية ٦ أقدام (١,٨٣ متر) ، وأن تكون المركبات التي تسير في الطريق من نوع السيارات الصغيرة بدون مركبات تجارية كالحافلات والشاحنات ، وأن تكون مسافات الرؤية غير مقيدة ، والمحاذاة الرأسية والأفقية مناسبة للحركة بسرعة ٧٠ ميلاً / ساعة (١١٣ كم/ ساعة) ، وعدم وجود تداخلات مرورية جانبية أو عرضية سواء من المركبات أو من المشاة . وكذلك ، من الواضح وجوب أن يكون الطريق خاليًا من التقاطعات أو الإشارات الضوئية أو علامات «قف» ، ويجب أن تتوافر سعة ملائمة للطريق في الاتجاهين ، وذلك عند توافر ظروف الطقس الجيدة . [١٤]

وما لم تتح الفرصة للتجاوز الحر ، فإنه نادرًا ما يمكن الوصول إلى تحقيق السرعات النظرية القصوى . ويعمل عديد من أنواع التداخلات المرورية المختلفة على تقليل السعة النظرية القصوى إلى قيم أقل يسهل المحافظة على تحقيقها . فقد يأتي التداخل العرضي من تقاطع طريقين على مستوى الطريق نفسه ويعمل وجود الإشارات الضوئية أو علامات «قف» في تلك التقاطعات على الحد من السرعة والسعة وخاصة في شوارع المدن . وقد يكون التداخل المروري هامشيًا بين حركة المشاة والمركبات والأشياء الأخرى على طول جانبي الطريق . أما التداخلات المرورية الداخلية فتتم بين السيارات التي تتحرك في الإتجاه نفسه(وذلك عند التجاوز) ، وتحدث التداخلات المرورية الوسطية بين السيارات المتحركة في اتجاهين متعاكسين بدون وجود فصل بينهما . فكل هذه المؤثرات تميل إلى التقليل من السعات النظرية القصوى وتجعلها قريبة من السعات التصميمية العملية للتدفق المروري حر الحركة المعطاة في الجدول (٨,٢) . وهذه القيم محسوبة على أساس حارة بعرض ١٢ قدمًا (٣,٦٦ متر) وتقل السعة مع ضيق الحارة (التداخلات الهامشية) . وتصل سعة الحارة بعرض ١١ قدما (٣,٣٥ متر) إلى ٨٦٪ من سعة حارة بعرض ١٢ قدما (٣,٦٦ متر) في الطرق المفردة ذوات الحارتين ، أما بالنسبة للطرق المتعددة الحارات في الاتجاه الواحد فتصل النسبة إلى ٩٧٪ . والنسب المقابلة لحارة بعرض ٩ أقدام هي ، فقط ، ٧٠٪ ، و٨١٪ ، على الترتيب .

وتسبّب العوائق الجانبية التي يزيد ارتفاعها عن ارتفاع الرصيف مثل الجدران الاستنادية أو العلامات المرورية أو الأسوار أو أعمدة الإنارة أو صف من السيارات الواقفة زيادة حذر السائقين وتخوفهم من الاقتراب من هذه العوائق وتخفيض السرعة . وبلاشك ، فإن الأكتاف المناسبة للطريق مستحبة لتوفير مكان لوقوف السيارات المعطلة ، وإذا كانت هذه الأكتاف مرصوفة فإنها يمكن أن تساعد على زيادة العرض الفعّال للحارات التي يقل عرضها عن ١٢ قدمًا . ويبين الجدول (٨,٣) التأثير المشترك للحارات الضيقة والأكتاف على سعة الطريق .

---

(١٤) المرجع السابق نفسه ، الفصل الخامس ، ص٨٨-١٠٠ .

الجدول (٢,٨): مستويات الخدمة والأحجام المرورية القصوى للطرق السريعة تحت حالات التدفق الحر (أ).

<table dir="rtl">
<tr><th rowspan="3">مستوى الخدمة</th><th colspan="2" rowspan="2">حالة التدفق المروري</th><th colspan="5">نسبة الحجم المخدوم إلى السعة (v/c) (ب)</th><th colspan="16" rowspan="2">الحجم المروري المخدوم الأقصى تحت الحالات المثالية وبسرعة ٧٠ ميلاً/ساعة (العدد الإجمالي للسيارات في الساعة، في الإتجاه الواحد)</th></tr>
<tr><th colspan="3">القيم الأساسية القصوى عند سرعة متوسطة قدرها ٧٠ ميلاً / ساعة على طريق سريع</th><th colspan="2">قيم عملية تقريبية لأي عدد من الحارات لسرعة الطرق المتوسطة المحدودة البالغة</th></tr>
<tr><th>الوصف</th><th>السرعة التشغيلية</th><th>٤ حارات (حارتين/اتجاه)</th><th>٦ حارات (٣ حارات/اتجاه)</th><th>٨ حارات (٤ حارات/اتجاه)</th><th>٦٠ ميلاً/ساعة</th><th>٥٠ ميلاً/ساعة</th><th colspan="4">طريق سريع بـ ٤ حارات (حارتين/اتجاه)</th><th colspan="4">طريق سريع بـ ٦ حارات (٣ حارات/اتجاه)</th><th colspan="4">طريق سريع بـ ٨ حارات (٤ حارات/اتجاه)</th><th colspan="4">لكل حارة إضافية فوق الأربع حارات (في الاتجاه الواحد)</th></tr>
<tr><td>A</td><td>تدفق حر</td><td>أكبر من أو يساوي ٦٠</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٣٥</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٤٠</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٤٣</td><td>-(ج)</td><td>-(ج)</td><td colspan="4">١,٤٠٠</td><td colspan="4">٢,٤٠٠</td><td colspan="4">٣,٤٠٠</td><td colspan="4">١,٠٠٠</td></tr>
<tr><td>B</td><td>تدفق مستقر (لدى السرعات العالية)</td><td>أكبر من أو يساوي ٥٥</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٥٠</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٥٨</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٦٣</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٢٥</td><td>-(ج)</td><td colspan="4">٢,٠٠٠</td><td colspan="4">٣,٥٠٠</td><td colspan="4">٥,٠٠٠</td><td colspan="4">١,٥٠٠</td></tr>
<tr><td colspan="7">عامل سرعة الذروة (PHF) (د)</td><td></td><td>٠,٧٧</td><td>٠,٨٣</td><td>٠,٩١</td><td>١,٠٠(هـ)</td><td>٠,٧٧</td><td>٠,٨٣</td><td>٠,٩١</td><td>١,٠٠(هـ)</td><td>٠,٧٧</td><td>٠,٨٣</td><td>٠,٩١</td><td>١,٠٠(هـ)</td><td>٠,٧٧</td><td>٠,٨٣</td><td>٠,٩١</td><td>١,٠٠(هـ)</td></tr>
<tr><td>C</td><td>تدفق مستقر</td><td>أكبر من أو يساوي ٥٠</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٧٥ (PHF)</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٨٠ (PHF)</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٨٣ (PHF)</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٤٥ (PHF)</td><td>-(ج)</td><td>٢,٣٠٠</td><td>٢,٥٠٠</td><td>٢,٧٥٠</td><td>٣,٠٠٠</td><td>٣,٧٠٠</td><td>٤,٠٠٠</td><td>٤,٣٥٠</td><td>٤,٨٠٠</td><td>٥,١٠٠</td><td>٥,٥٠٠</td><td>٦,٠٠٠</td><td>٦,٦٠٠</td><td>١,٤٠٠</td><td>١,٥٠٠</td><td>١,٦٥٠</td><td>١,٨٠٠</td></tr>
<tr><td>D</td><td>يقترب من التعثق</td><td>أكبر من أو يساوي ٤٠</td><td>أقل من أو يساوي ٣٠(و)</td><td colspan="2">أقل من أو يساوي ٠,٩٠ (PHF)</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٨٠ (PHF)</td><td>أقل من أو يساوي ٠,٤٥ (PHF)</td><td>٢,٨٠٠</td><td>٣,٠٠٠</td><td>٣,٣٠٠</td><td>٣,٦٠٠</td><td>٤,١٥٠</td><td>٤,٥٠٠</td><td>٤,٩٠٠</td><td>٥,٤٠٠</td><td>٥,٦٠٠</td><td>٦,٠٠٠</td><td>٦,٦٠٠</td><td>٧,٢٠٠</td><td>١,٤٠٠</td><td>١,٥٠٠</td><td>١,٦٥٠</td><td>١,٨٠٠</td></tr>
<tr><td>E</td><td>تدفق غير مستقر</td><td>٣٠ – ٣٥(و)</td><td colspan="5">أقل من أو يساوي ١,٠٠</td><td colspan="4">٤,٠٠٠(و)</td><td colspan="4">٦,٠٠٠(و)</td><td colspan="4">٨,٠٠٠(و)</td><td colspan="4">٢,٠٠٠(و)</td></tr>
<tr><td>F</td><td>تدفق مختنق</td><td></td><td colspan="5">عديم المعنى</td><td colspan="12">يتفاوت كثيرا (من صفر إلى كامل السعة)</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

(١ ميل/ ساعة = ١٦٠٩كم/ ساعة)

(أ) Highway Capacity Manual, Special Report 87, Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1966, Table 9-1, p. 56

(ب) السرعة التشغيلية والنسبة الأساسية (v/c) هما مقياسان مستقلان لمستوى الخدمة، ويجب تحقيق كل منهما عند تحديد مستوى الخدمة.

(ج) لا يمكن الحصول على السرعة التشغيلية المطلوبة عند هذا المستوى حتى عند الأحجام المرورية القليلة.

(د) يعرف عامل ساعة الذروة للطرق السريعة بأنه النسبة بين الحجم المروري خلال ساعة كاملة إلى أعلى نسبة تدفق تحدث خلال فترة ٥ دقائق خلال ساعة الذروة.

(هـ) نادرا ما يتحقق عامل ساعة الذروة البالغ ١,٠٠ وعليه يجب اعتبار القيم المعطاة هنا على أنها تمثل أقصى متوسط لمعدلات التدفق المرجح الحصول عليها خلال أقصى تدفق لفترة ٥ دقائق ضمن ساعة الذروة.

(و) هذه القيم تقريبية.

الجدول (٣،٨): التأثير المشترك لعرض الحارة والخلوص الجانبي المحدود على السعة والأحجام المرورية المخدومة للطرق السريعة المقسومة مع التدفق الحر للحركة[أ]

المسافة من حافة حارة الطريق حتى العائق (بالقدم)	العائق موجود على جانب واحد للاتجاه الواحد للطريق لحارة عرضها:				العائق موجود على الجانبين للاتجاه الواحد للطريق لحارة عرضها:			
	١٢ قدماً (٣,٦٦ متر)	١١ قدماً (٣,٣٥ متر)	١٠ أقدام (٣,٠٥ متر)	٩ أقدام (٢,٧٤ متر)	١٢ قدماً (٣,٦٦ متر)	١١ قدماً (٣,٣٥ متر)	١٠ أقدام (٣,٠٥ متر)	٩ أقدام (٢,٧٤ متر)
١ – طريق سريع مقسوم بأربع حارات (٢ في كل اتجاه)								
٦	١,٠٠	٠,٩٧	٠,٩١	٠,٨١	١,٠٠	٠,٩٧	٠,٩١	٠,٨١
٤	٠,٩٩	٠,٩٦	٠,٩٠	٠,٨٠	٠,٩٨	٠,٩٥	٠,٨٩	٠,٧٩
٢	٠,٩٧	٠,٩٤	٠,٨٨	٠,٧٩	٠,٩٤	٠,٩١	٠,٨٦	٠,٧٦
صفر	٠,٩٠	٠,٨٧	٠,٨٢	٠,٧٣	٠,٨١	٠,٧٩	٠,٧٤	٠,٦٦
٢ – طريق سريع مقسوم بـ ٦ أو ٨ حارات								
٦	١,٠٠	٠,٩٦	٠,٨٩	٠,٧٨	١,٠٠	٠,٩٦	٠,٨٩	٠,٧٨
٤	٠,٩٩	٠,٩٥	٠,٨٨	٠,٧٧	٠,٩٨	٠,٩٤	٠,٨٧	٠,٧٧
٢	٠,٩٧	٠,٩٣	٠,٨٧	٠,٧٦	٠,٩٦	٠,٩٢	٠,٨٥	٠,٧٥
صفر	٠,٩٤	٠,٩١	٠,٨٥	٠,٧٤	٠,٩١	٠,٨٧	٠,٨١	٠,٧٠

(أ) Highway Capacity Manual, Special Report 87, Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1966, Table 9-1, p. 56.

(ب) يستخدم هذا العامل لتعديل السعة وجميع مستويات الخدمة.

ومن المعروف أن المركبات التجارية أكبر حجماً من السيارات العادية وتسير بسرعات أبطأ منها وخاصة عند تسلق الميول المرتفعة. وفي حالة الحارة التي يسير عليها العدد الأقصى من السيارات عند سرعة ٢٠ ميلا/ ساعة، فإنه يجب إزالة سيارتين لكل شاحنة أو حافلة واحدة تريد استخدام الحارة. وتصل النسبة عند سرعة ٦٠ ميلا/ ساعة إلى ٨ سيارات لكل شاحنة أو حافلة. وتبين مشاهدات الأداء أن تأثير الشاحنة الواحدة على السعة يعادل تأثير سيارتين في الطرق المستوية، وتأثير أربع سيارات في الطرق التلالية، وتأثير ثماني سيارات في الطرق الجبلية. والقيم المقابلة للحافلات هي ١,٦ , و٣, و٥ على التوالي عند وجود أحجام مرورية كبيرة لحركة الحافلات.[١٥] ويساعد وجود حارات إضافية لتسلق المركبات البطيئة، في الميول المرتفعة، على استمرار حركة المرور.

وتستخدم الطريقة السابق ذكرها للتطبيق العام، ولكن عندما تكون الأحجام المرورية للشاحنات أو الحافلات كبيرة مع وجود ميول طويلة وحادة ومتكررة في الطريق، فيلزم، عندئذ، إجراء تحليل مفصل لسعة الطريق عند كل جزء من الميول المختلفة باستخدام طرق حساب أدق كما في جداول دليل سعة الطريق المبينة أدناه. انظر الجدولين (٨,٤) و (٨,٥).

مستوى الخدمة Level of Service. لقد بينا سابقًا أن الحجم المروري المار عبر نقطة ما يعتمد على الفجوة الفاصلة بين المركبات المتتابعة، أو التقاطر، أي أنها تعتمد على السرعة العملية. وبناء على أبحاث وتجارب عديدة، قام مجلس أبحاث الطرق الأمريكي[١٦] في دليل سعة الطرق باختزال المقاييس السابقة لقياس سعة الطريق (مثل السعة الممكنة والسعة العملية أو السعات تحت ظروف غير مثالية) واستبدالها بقياس واحد وهو «السعة» مع سلسلة من مستويات الخدمة المبنية على السرعة والتي تعكس التغير في قيمة السعة عندها. ويُحصل على «السعة»، وهي التي تعطي ٢٠٠٠ مركبة في الساعة للحارة الواحدة تحت الظروف المثالية عند سرعة تتراوح بين ٣٠ و٣٥ ميلا بالساعة. وإذا أردنا زيادة سرعة حركة المرور فيجب أن تكون هناك زيادة مقابلة في الفجوة الفاصلة بين المركبات مما يؤدي إلى إنخفاض السعة المرورية. وقد تم تحديد ستة مستويات للخدمة المرورية يرمز لها بالحروف من *(A)* إلى *(F)* (من أعلى سرعة إلى أبطأ سرعة) وهذه المستويات معرفة على أساس السرعة الفعلية على الطرق الخلوية (وعلى أساس المتوسط الإجمالي لسرعة التنقل داخل المدن)، كما أنها معرفة على أساس الحجم المروري الذي يقاس بالنسبة *(v/c)* أو نسبة الحجم المروري *(v)* إلى السعة *(c)*. ويبين الجدول (٨,٢) مستويات الخدمة المرورية والأحجام المرورية القصوى الممكن للطريق خدمتها، وذلك للطرق السريعة المقسومة تحت ظروف التدفق المروري الحر الحركة مع تحكم كامل في الدخول إلى الطريق والخروج منه. ويمثل مستوى الخدمة *(E)* عند سرعة ٣٠ - ٣٥ ميلا بالساعة (٤٨ - ٥٦ كم/ ساعة) السعة القصوى للطريق تحت الظروف المثالية، بمعنى أن قيمة النسبة *(v/c)* هي واحد. وهذه الحالة تمثل التوازن الأمثل بين الكثافة والسرعة.

---

(١٥) المرجع السابق نفسه، جدول ٩-٣أ، ص ٢٥٧.

(١٦) تغير اسمه إلى مجلس أبحاث النقل (بدلاً من الطرق).

الجدول (٨,٤): متوسط التعديل العام لنتيجة وجود الشاحنات(أ) على الطرق السريعة في حالة تحليل قطاعات ممتدة من طول الطريق.

نسبة الشاحنات	قيمة العامل (T) لجميع مستويات الخدمة		
(P_T)	تضاريس مستوية	تضاريس تلالية	تضاريس جبلية
١	٠,٩٩	٠,٩٧	٠,٩٣
٢	٠,٩٨	٠,٩٤	٠,٨٨
٣	٠,٩٧	٠,٩٢	٠,٨٣
٤	٠,٩٦	٠,٨٩	٠,٧٨
٥	٠,٩٥	٠,٨٧	٠,٧٤
٦	٠,٩٤	٠,٨٥	٠,٧٠
٧	٠,٩٣	٠,٨٣	٠,٦٧
٨	٠,٩٣	٠,٨١	٠,٦٤
٩	٠,٩٢	٠,٧٩	٠,٦١
١٠	٠,٩١	٠,٧٧	٠,٥٩
١٢	٠,٨٩	٠,٧٤	٠,٥٤
١٤	٠,٨٨	٠,٧٠	٠,٥١
١٦	٠,٨٦	٠,٦٨	٠,٤٧
١٨	٠,٨٥	٠,٦٥	٠,٤٤
٢٠	٠,٨٣	٠,٦٣	٠,٤٢

(أ) لا ينطبق هذا الجدول على تأثير الحافلات عندما تكون محطّ الاهتمام والتحليل المنفصل إذ يجب استعمال الجدول (٨,٥) بدلا من ذلك.

(ب) *Highway Capacity Manual,* Special Report 87, Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1966, Table 9.3b, p. 257.

ويمثل مستوى الخدمة (c) لطريق سريع مقسوم بأربع حارات، كما في الجدول (٨,٢)، تدفقًا مستقرًا بسرعة ٥٠ ميلا بالساعة (٨٠ كم/ ساعة). ويصل الحجم المروري المشاهد تحت الظروف المثالية وعند قيمة واحد لعامل ساعة الذروة (PHF) إلى ٣٠٠٠ مركبة في الساعة في الاتجاه الواحد. وبما أنه قد تم تعريف السعة تحت الظروف المثالية بأنها ٤٠٠٠ مركبة في الساعة لحارتين في الاتجاه الواحد وعند سرعة ٣٠ ميلا/ ساعة (٤٨ كم/ ساعة) فإن نسبة الحجم المروري إلى السعة (v/c) هي في هذه الحالة ٣٠٠٠÷٤٠٠٠ = ٠,٧٥ ويمكن اختيار قيم مختلفة للأحجام المرورية المخدومة بناء على مستوى الخدمة المرغوب فيها، أي اختيار السرعة التشغيلية. ويحتوي دليل سعة الطريق، أيضًا، على جداول مماثلة للجدول (٨,٢) لطرق غير مقسومة ومتعددة الحارات، ولطرق مفردة بحارتين واتجاهين متعاكسين، وللشوارع الشريانية داخل المدن وضواحيها.

الجدول (٥ ,٨): عوامل التعديل (أ) لوجود الشاحنات والحافلات على الأجزاء المفردة والمائلة للطرق السريعة (شاملة مكافئ السيارات الخاصة ونسبة الشاحنات أو الحافلات)(ب).

مكافئ السيارات الخاصة	عامل تعديل الشاحنات T_C أو T_L (للحافلات B_C أو B_L)(جـ)														
	نسبة الشاحنات P_r (أو نسبة الحافلات P_B) البالغة (٪)														
(E_T أو E_B)	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١٢	١٤	١٦	١٨	٢٠
٢	٠,٩٩	٠,٩٨	٠,٩٧	٠,٩٦	٠,٩٥	٠,٩٤	٠,٩٣	٠,٩٣	٠,٩٢	٠,٩١	٠,٨٩	٠,٨٨	٠,٨٦	٠,٨٥	٠,٨٣
٣	٠,٩٨	٠,٩٦	٠,٩٤	٠,٩٣	٠,٩١	٠,٨٩	٠,٨٨	٠,٨٦	٠,٨٥	٠,٨٣	٠,٨١	٠,٧٨	٠,٧٧	٠,٧٦	٠,٧١
٤	٠,٩٧	٠,٩٤	٠,٩٢	٠,٨٩	٠,٨٧	٠,٨٥	٠,٨٣	٠,٨١	٠,٧٩	٠,٧٧	٠,٧٤	٠,٧٠	٠,٦٨	٠,٦٨	٠,٦٣
٥	٠,٩٦	٠,٩٣	٠,٨٩	٠,٨٦	٠,٨٣	٠,٨١	٠,٧٨	٠,٧٦	٠,٧٤	٠,٧١	٠,٦٨	٠,٦٤	٠,٦١	٠,٥٨	٠,٥٦
٦	٠,٩٥	٠,٩١	٠,٨٧	٠,٨٣	٠,٨٠	٠,٧٧	٠,٧٤	٠,٧١	٠,٦٩	٠,٦٧	٠,٦٣	٠,٥٩	٠,٥٦	٠,٥٣	٠,٥٠
٧	٠,٩٤	٠,٨٩	٠,٨٥	٠,٨١	٠,٧٧	٠,٧٤	٠,٧٠	٠,٦٨	٠,٦٥	٠,٦٣	٠,٥٨	٠,٥٤	٠,٥١	٠,٤٨	٠,٤٥
٨	٠,٩٣	٠,٨٨	٠,٨٣	٠,٧٨	٠,٧٤	٠,٧٠	٠,٦٧	٠,٦٤	٠,٦١	٠,٥٩	٠,٥٤	٠,٥١	٠,٤٧	٠,٤٤	٠,٤٢
٩	٠,٩٣	٠,٨٦	٠,٨١	٠,٧٦	٠,٧١	٠,٦٨	٠,٦٤	٠,٦١	٠,٥٨	٠,٥٦	٠,٥١	٠,٤٧	٠,٤٤	٠,٤١	٠,٣٨
١٠	٠,٩٢	٠,٨٥	٠,٧٩	٠,٧٤	٠,٦٩	٠,٦٥	٠,٦١	٠,٥٨	٠,٥٥	٠,٥٣	٠,٤٨	٠,٤٤	٠,٤١	٠,٣٨	٠,٣٦
١١	٠,٩١	٠,٨٣	٠,٧٧	٠,٧١	٠,٦٧	٠,٦٣	٠,٥٩	٠,٥٦	٠,٥٣	٠,٥٠	٠,٤٥	٠,٤٢	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٣
١٢	٠,٩٠	٠,٨٢	٠,٧٥	٠,٦٩	٠,٦٥	٠,٦٠	٠,٥٧	٠,٥٣	٠,٥٠	٠,٤٨	٠,٤٣	٠,٣٩	٠,٣٦	٠,٣٤	٠,٣١
١٣	٠,٨٩	٠,٨١	٠,٧٤	٠,٦٨	٠,٦٣	٠,٥٨	٠,٥٤	٠,٥١	٠,٤٨	٠,٤٥	٠,٤١	٠,٣٧	٠,٣٤	٠,٣٢	٠,٢٩
١٤	٠,٨٨	٠,٧٩	٠,٧٢	٠,٦٦	٠,٦١	٠,٥٦	٠,٥٢	٠,٤٩	٠,٤٦	٠,٤٣	٠,٣٩	٠,٣٥	٠,٣٢	٠,٣٠	٠,٢٨
١٥	٠,٨٨	٠,٧٨	٠,٧٠	٠,٦٤	٠,٥٩	٠,٥٤	٠,٥١	٠,٤٧	٠,٤٤	٠,٤٢	٠,٣٧	٠,٣٤	٠,٣١	٠,٢٨	٠,٢٦
١٦	٠,٨٧	٠,٧٧	٠,٦٩	٠,٦٣	٠,٥٧	٠,٥٣	٠,٤٩	٠,٤٥	٠,٤٣	٠,٤٠	٠,٣٦	٠,٣٢	٠,٢٩	٠,٢٧	٠,٢٥
١٧	٠,٨٦	٠,٧٦	٠,٦٨	٠,٦١	٠,٥٦	٠,٥١	٠,٤٧	٠,٤٤	٠,٤١	٠,٣٨	٠,٣٤	٠,٣١	٠,٢٨	٠,٢٦	٠,٢٤
١٨	٠,٨٥	٠,٧٥	٠,٦٦	٠,٦٠	٠,٥٤	٠,٤٩	٠,٤٦	٠,٤٢	٠,٤٠	٠,٣٧	٠,٣٣	٠,٣٠	٠,٢٧	٠,٢٥	٠,٢٣
١٩	٠,٨٥	٠,٧٤	٠,٦٥	٠,٥٨	٠,٥٣	٠,٤٨	٠,٤٤	٠,٤١	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٢	٠,٢٨	٠,٢٦	٠,٢٤	٠,٢٢
٢٠	٠,٨٤	٠,٧٢	٠,٦٤	٠,٥٧	٠,٥١	٠,٤٧	٠,٤٢	٠,٤٠	٠,٣٧	٠,٣٤	٠,٣٠	٠,٢٧	٠,٢٥	٠,٢٣	٠,٢١
٢١	٠,٨٣	٠,٧١	٠,٦٣	٠,٥٦	٠,٥٠	٠,٤٥	٠,٤١	٠,٣٨	٠,٣٦	٠,٣٣	٠,٢٩	٠,٢٦	٠,٢٤	٠,٢٢	٠,٢٠
٢٢	٠,٨٣	٠,٧٠	٠,٦١	٠,٥٤	٠,٤٩	٠,٤٤	٠,٤٠	٠,٣٧	٠,٣٥	٠,٣٢	٠,٢٨	٠,٢٥	٠,٢٣	٠,٢١	٠,١٩
٢٣	٠,٨٢	٠,٦٩	٠,٦٠	٠,٥٣	٠,٤٨	٠,٤٣	٠,٣٩	٠,٣٦	٠,٣٤	٠,٣١	٠,٢٧	٠,٢٥	٠,٢٢	٠,٢٠	٠,١٩
٢٤	٠,٨١	٠,٦٨	٠,٥٩	٠,٥٢	٠,٤٧	٠,٤٢	٠,٣٨	٠,٣٥	٠,٣٣	٠,٣٠	٠,٢٧	٠,٢٤	٠,٢١	٠,١٩	٠,١٨
٢٥	٠,٨٠	٠,٦٧	٠,٥٨	٠,٥١	٠,٤٦	٠,٤١	٠,٣٧	٠,٣٤	٠,٣٢	٠,٢٩		٠,٢٣	٠,٢٠	٠,١٨	٠,١٧

(أ) Highway Capacity Manual, Special Report 87, Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1966, Table 9-6, p. 261

(ب) تستخدم لتحويل الأحجام المكافئة للسيارات الخاصة إلى مزيج الحركة المرورية الفعلي، استخدم مقلوب هذه القيم لتحويل مزيج الحركة المرورية إلى السيارات الخاصة المكافئة.

(جـ) يجب عدم الجمع بين الشاحنات والحافلات معا أثناء استعمال هذا الجدول عندما تكون الحافلات محط الاهتمام للتحليل المنفصل الذي تثبت الحاجة إليه وذلك بسبب اختلاف مكافئ السيارات الخاصة لكل منهما.

وتعتمد السعة، أيضًا، على الظروف السائدة من حيث عرض الحارة وعرض الكتف، ووجود المركبات التجارية والميول ومسافة الرؤية وعوامل أخرى خاصة بنوع الطريق الذي تحت الدراسة. ويمكن أن يحتوي طول معين من الطريق على جزء تختلف فيه الظروف السائدة وبالتالي، تختلف فيه مستويات الخدمة والسعات.

أما حالات التدفق المروري الحر الحركة، فتحدد السعة فيها عن طريق ضرب قيمة السعة تحت الظروف المثالية بعوامل تمثل الظروف السائدة، وذلك باستعمال المعادلة:

$$C = 2000 \times N \times W \times T_c \times B_c$$

حيث إن:

C = السعة تحت الظروف السائدة مقاسة بالمركبات/ ساعة.

N = عدد الحارات في الاتجاه الواحد.

W = تعديل للسعة بسبب عرض الحارة وكتف الطريق (الخلوص الجانبي)، كما في الجدول (٣, ٨) للطرق المقسومة.

T_c = عامل تعديل السعة بسبب وجود شاحنات، والجداول (٤, ٨)و(٥, ٨) تعطي قيمًا لهذا العامل.

B_c = عامل تعديل السعة بسبب وجود حافلات، وقيمه معطاة في الجدول (٥, ٨)، وهذا العامل يستعمل، فقط، عندما نحلّل تأثير الحافلات تحليلا منفصلا، وفيما عدا ذلك، فإنه يغفل أو يدمج في معامل واحد لتأثير الشاحنات والحافلات معًا.

وباستعمال الطرق الموضحة في دليل سعة الطريق يمكن حساب الحجم المروري المخدوم مباشرة من قيمة السعة تحت الظروف المثالية:

$$SV = 2000 \times N \times (v/c) \times W \times T_L$$

حيث إن:

SV = الحجم المروري المخدوم لمزيج من المركبات في الساعة للاتجاه الواحد.

v/c = نسبة الحجم إلى السعة والتي يحصل عليها من الجدول (٢, ٨).

N = عدد الحارات في الاتجاه الواحد.

W = عامل تعديل بسبب عرض الحارة والخلوص الجانبي، كما في الجدول (٣, ٨).

T_L = عامل الشاحنات عند مستوى خدمة معين، وتؤخذ قيمته من الجدول (٤, ٨) «لأطوال كبيرة من الطريق» أو من الجدول (٥, ٨).

مثال توضيحي

يقع طريق حر سريع مقسوم بأربع حارات في منطقة تلال، وتبلغ سرعته التشغيلية ٥٥ ميلا/ ساعة (٨٩ كم/ ساعة)، ويبلغ عرض الحارة ١٠ أقدام (٠٥, ٣ متر)، وعرض الكتف ٦ أقدام (٨٣, ١ متر)، وتبلغ نسبة الشاحنات الموجودة على الطريق ١٠٪ من مجموع المركبات. ما الحجم المروري المخدوم لهذا الجزء من الطريق السريع؟

يمكن الحصول من الجدول (٨,٢) على قيمة النسبة (*V/c*) لتساوي ٥٠٪، وذلك لسرعة ٥٥ ميلاً/ ساعة (٨٩ كم/ ساعة). ومن الجدول (٨,٣)، نجد أن قيمة عامل التعديل لعرض الحارة *W* = ٠,٩١ ؛ وتبلغ قيمة عامل الشاحنات (T_L) من الجدول (٨,٤) المقدار ٠,٧٧ ، وبالتعويض بهذه القيم في معادلة الحجم المروري المخدوم، نحصل على :

الحجم المروري المخدوم (*S/V*) = ٢٠٠٠ × ٢ × ٠,٥٠ × ٠,٩١ × ٠,٧٧ = ١٤٠٢ مركبة في الساعة .

وللحصول على مستوى الخدمة المناسب، يجب إدخال التعديلات اللازمة على السعة واستخدام نسبة (*V/C*) الملائمة التي تحقق مستوى الخدمة المرغوب فيها. ومن الضروري تدقيق النتائج للتأكد من أن معايير كل من الحجم المروري والسرعة التشغيلية لمستوى الخدمة المرغوب فيها قد روعيت، مع إعطاء الاعتبار اللازم لمتوسط السرعة التشغيلية السائدة للطريق.

ويهدف استعراض الطرق السابقة لشرح القواعد المهمة وإظهار الطبيعة العامة لطرق الحساب. ويمكن للقارئ أن يرجع إلى دليل سعة الطريق لمراجعة طرق حساب السعة للطرق غير المقسومة والمتعددة الحارات، وكذلك للطرق المفردة ذوات حارتين في اتجاهين متعاكسين، التي لا تختلف كثيرًا عما إستعرضناه للطرق المقسومة، كما يمكنه أن يجد هناك قيما مجدولة للمتغيرات الداخلة في الحساب.

سعة التقاطع ذي الإشارات الضوئية Signalized Intersection Capacity. لقد بحثنا ،إلى الآن، سعة الطريق على افتراض حرية التدفق المروري دون تقاطعات. وتعد تقاطعات الطريق، خصوصًا التي فيها إشارات ضوئية، المصدر الأساس لمقاطعة التدفق المروري. أما التقاطعات التي بدون إشارات ضوئية فإما أن تكون حركة المرور عليها خفيفة نسبيًا أو أن تعطى الحركة في الطريق الرئيس أولوية المرور على الحركة في الطريق الفرعي الذي يتقاطع معه، والذي توضع له علامات «قف». وفي كلتا الحالتين، فإن ذلك يعطي فعليًا حركة تدفق حرة بدون مقاطعة على الطرق الرئيسة. وتستخدم علامات قف في كل من الاتجاهات الأربع للتقاطعات عندما تكون الأحجام المرورية السائدة، عادة، خفيفة أو توضع لفترة مؤقتة، قبل تركيب الإشارات الضوئية، على سبيل المثال.

وقد وضعت مستويات للخدمة أيضاً عند التقاطعات التي فيها إشارات ضوئية. ويرمز لهذه المستويات بالرموز من (*A*) حتى (*F*) حيث إن المستوى (*A*) يمثل التدفق الحر بمعامل تحميل قدره صفر، أي بدون تأخير مطلقاً. وتبلغ قيمة معامل التحميل للمستويين (*B*) و (*C*) ١,٠ ، و ٠,٣ على التوالي، ويمثلان تدفقًا مستقرًا، أما المستوى (*D*) فيقترب من التدفق المستقر بمعامل تحميل قدره ٠,٧ (بعضه انتظار وتأخير)، والمستوى (*E*) يعني حالة تدفق غير مستقر ويمثل السعة بمعامل تحميل قدره ١ (ولكن غالبًا ما تكون قيمته ٠,٨٥) ويشمل صفوف انتظار وتأخير. أما المستوى (*F*) فيمثل حالة الاختناق المروري مع صفوف انتظار طويلة قادمة من التقاطعات الأخرى.[١٧]

وتعتمد السعة ومستوى الخدمة للتقاطع ذي الإشارة الضوئية على العوامل التالية :[١٨]

---

(١٧) المرجع السابق نفسه، ص ١٣٠–١٣١ .

(١٨) المرجع السابق نفسه، ص ١١٢–١٢٩ .

(أ) *الأحوال التصميمية والتشغيلية* : وهذه تشمل عرض كل شارع من الشوارع المتقاطعة (المسافة من الرصيف للرصيف)، وعرض الحارة، وعما إذا كانت الحركة في اتجاه واحد أو في اتجاهين، وعما إذا كان الوقوف مسموحًا به عند التقاطع، وخاصة ضمن مسافة ٢٥٠ قدماً من التقاطع .

(ب) *الأحوال السائدة* : وهذه تضم «عامل التحميل» أي عدد المرات التي توجد فيها مركبات في انتظار الضوء الأخضر من دورة الإشارة لعبور التقاطع . ويمثل عامل التحميل درجة توافر مركبات في التقاطع عند بدء الضوء الأخضر ومن ثم، استغلال كامل الوقت المخصص للضوء الأخضر . ويعرف عامل التحميل بأنه النسبة بين عدد المرات التي يتم فيها استغلال الضوء الأخضر تمامًا (أي المراحل الخضراء المحملة تمامًا) إلى عدد المرات التي يظهر فيها الضوء الأخضر خلال الفترة نفسها. وتتراوح قيمته بين صفر (لا توجد مرحلة خضراء محملة) وواحد (جميع المراحل الخضراء محملة). والقيمة ٣ , ٠ لعامل التحميل تعني أنه يمكن للمركبات أحيانًا أن تنتظر في التقاطع لأكثر من مرحلة حمراء واحدة، في حين تمثل القيمة ٧ , ٠ تأخيرًا كبيرًا .

وهناك مقياس آخر للأحوال السائدة في التقاطع يسمى «عامل ساعة الذروة» (Peak Hour Factor, PHF) ويقيس درجة ثبات الطلب المروري على التقاطع . ويعرف «عامل ساعة الذروة» بأنه النسبة بين عدد المركبات التي يتم عدّها خلال ساعة الذروة و ٤ أضعاف عدد المركبات التي يتم عدها خلال الـ ١٥ دقيقة المتتالية التي يمر خلالها أكبر عدد من المركبات. وقد جرى استخدام قيمة ٠ , ١ لهذا العامل في حالة الطلب المروري الكبير جدًا، ولكن، عادة ما تستعمل القيمة ٨٥ , ٠ للتقاطعات ذات الكثافة المرورية العالية خلال معظم أجزاء ساعة كاملة . ويمكن استخدام القيمة ٦٠ , ٠ و٧٠ , ٠ لحالات التدفق المروري الكثيف خلال فترات قصيرة .

وقد وجد أن سعة التقاطعات في المدن الكبيرة أكبر منها في المدن الصغيرة . كما أن السعة تميل إلى الزيادة كلما إبتعدنا عن منطقة وسط المدينة، وذلك بسبب قلة وجود المشاة جزئيًا .

(جـ) *الخصائص المرورية* : وهذه تشمل نسب حركات الالتفاف وخاصة إلى الجهة اليسرى من التقاطع، ونسبة الشاحنات والحافلات البطيئة التسارع والأكبر حجمًا من السيارات، وعدد المحطات التي تقف فيها الحافلة لركوب الركاب ونزولهم، (والتأثير السلبي لوقوف الحافلات في الطرف البعيد من التقاطع على حركة المرور أقل من تأثير وقوف الحافلات في الطرف القريب من التقاطع إلا في حالة كثرة حركات الالتفاف إلى اليمين) .

(د) *إجراءات التحكم المروري*: وهذه تشمل استغلال الإشارات الضوئية من حيث موقعها، وطول دورتها الزمنية (خصوصًا نسبة طول زمن الضوء الأخضر إلى طول الدورة)، والخطوط الأرضية للحارات في الشوارع عند التقاطع والتي تحدد عرض الحارات وتساعد على توجيه الحركة وإرشادها .

ويعبر عن السعة والأحجام المرورية المخدومة بمقياس «عدد المركبات خلال ساعة من الضوء الأخضر» . وبمعرفة نسبة زمن الضوء الأخضر إلى الزمن الكلي لدورة الإشارة الضوئية، فإنه يمكن حساب عدد المركبات التي يمكن أن تعبر التقاطع في ساعة واحدة . ولقد جرى إعداد رسومات بيانية تأخذ في الاعتبار العوامل السابقة للشوارع ذات الاتجاه الواحد والأخرى ذات الاتجاهين في كل من حالتي السماح بوقوف المركبات على جانبي الطريق وعدمه . ويمثل الشكلان (٨ , ٨ أ) و(٨ , ٨ ب) نموذجًا لتلك الرسومات للشوارع ذوات الاتجاه الواحد وذوات الاتجاهين .

وتشير المعلومات في الركن السفلي الأيمن لكل من هذه الأشكال إلى متوسط حالات المرور التي تنطبق عليها هذه الأشكال. ويجب إجراء تعديلات إضافية إذا كان التقاطع المعين الخاضع للدراسة يختلف عن تلك الحالات من حيث نسبة الالتفاف لليمين ولليسار، وأحوال الشاحنات والحافلات. انظر الجدول (٦ ,٨). وأفضل طريقة لإيضاح حسابات سعة التقاطع خلال الساعة هي بإعطاء مثال لذلك.

لنفرض أن لدينا تقاطعًا لشارع ذي اتجاهين والوقوف ممنوع على جانبي الطريق، والتقاطع يقع في منطقة سكنية لمدينة سكانها ١٠٠٠٠٠ نسمة، ويبلغ عرض الطريق من الرصيف إلى الخط الفاصل بين الاتجاهين ٢٤ قدمًا، ونرغب الحفاظ على مستوى خدمة (C) الذي يعطينا تدفقًا مروريًا مستقرًا بعامل تحميل قيمته ٣ ,٠، وتبلغ نسبة الشاحنات ٣٪ من مجموع المركبات، وهناك ١٠ حافلات في الساعة تقوم بالوقوف على الطرف القريب من التقاطع، وتبلغ نسبة المركبات التي تلتف لليمين ٢٠٪ من المركبات الإجمالية ونسبة التي تلتف لليسار ١٢٪.

إن هذا النوع من الشوارع يتطلب استعمال الشكل (٨ ,٨ ب) الذي يعطي لعرض ٢٤ قدماً من الرصيف (٣ ,٧ م) إلى الخط الفاصل، وعامل تحميل ٣ ,٠، حجمًا مروريًا قيمته ١٨٠٠ مركبة لساعة كاملة من الضوء الأخضر. ولكن، يجب أن يتم تعديل هذا الرقم بعامل ساعة الذروة، وذلك باستعمال القيمة ٨٥ ,٠ تمثل التقاطعات الكثيفة الحركة. وإذا دمجنا العامل ٨٥ ,٠ مع عدد السكان البالغ ١٠٠٠٠٠ نسمة نحصل على عامل تعديل قدره ٩٤ ,٠، ويجب، أيضًا، أن نقوم بتعديل آخر وقيمته ٢٥ ,١ وذلك لوقوع التقاطع في منطقة سكنية. ولهذا، فيصبح عدد السيارات لساعة كاملة من الضوء الأخضر:

١٨٠٠ × ٩٤ ,٠ × ٢٥ ,١ = ٢١١٥ مركبة

ونظرًا لوجود عدد من المركبات التي تلتف يمينًا ويسارًا، يجب أن نقوم بتعديل آخر لحساب تأثير ذلك. وباستعمال نسب الالتفاف المعطاة سابقًا مع الجدول (٦ ,٨)، نحصل على عامل تعديل قيمته ٩٥٠ ,٠ للالتفاف إلى اليمين و ٩٨٠ ,٠ للالتفاف إلى اليسار. ويساوي معامل التعديل لـ ٣٪ شاحنات ٠٢ ,١، وتتطلب الحافلات وهي ١٠ بالساعة تقف على الطرف القريب من التقاطع عامل تصحيح بقيمة ٧٥٥ ,٠ الذي حصلنا عليه من الجدول (٦ ,٨). وهكذا يصبح العدد المعدل للمركبات التي تعبر التقاطع في ساعة كاملة من الضوء الأخضر:

٢١١٥ × ٩٥٠ ,٠ × ٩٨٠ ,٠ × ٠٢ ,١ × ٧٥٥ ,٠ = ١٥١٦ مركبة

ولكن هذا العدد هو لساعة كاملة من الضوء الأخضر ويجب تعديل هذا العدد بنسبة فترة الضوء الأخضر لزمن الدورة الكاملة، أي ١٥١٦ × (٣٠÷٥٠) = ٩١٠ مركبات في الساعة، على فرض أن زمن الدورة هو ٥٠ ثانية وطول المرحلة الخضراء هو ٣٠ ثانية.

ملاحظة: إن مصدر المعلومات التي بُحثت أعلاه والمتعلقة بسعة الطرق والتقاطعات ومستوى الخدمة عليها، هو دليل سعة الطرق الذي أعده مركز أبحاث الطرق الأمريكي ونشره عام ١٩٦٥م تحت تقرير خاص رقم ٨٧ (المرجع رقم ٤). ومنذ ذلك الحين، كان هذا التقرير أحد المصادر الأساسية التي استعملت في تصميم الطرق وتشغيلها. وبسبب الأبحاث المهمة التي جرت خلال العشرين سنة التي تلت ذلك والنتائج المفيدة التي توصلت إليها، تغيرت النظرة إلى إجراءات حساب سعة الطرق المعبدة ومستوى الخدمة عليها.

الجدول (٨,٦): عوامل التعديل لتحديد سعة التقاطع المعدلة

الجزء الأول: حالات الالتفاف لليمين في الشوارع ذوات الاتجاه الواحد وذوات الاتجاهين والالتفاف لليسار في الشوارع ذوات الاتجاه الواحد.[أ]

نسبة الالتفاف ٪	عامل التعديل					
	عرض الشارع مع منع الوقوف			عرض الشارع مع السماح بالوقوف		
	أقل من أو يساوى ١٥ قدماً	١٦–٢٤ قدماً[ب]	٢٥–٣٤ قدماً	أقل من أو يساوى ٢٠ قدماً	٢١–٢٩ قدماً	٣٠–٣٩ قدماً
صفر	١,٢٠	١,٠٥٠	١,٠٢٥	١,٢٠	١,٠٥٠	١,٠٢٥
١٠	١,٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠
٢٠	٠,٩٠	٠,٩٥٠	٠,٩٧٥	٠,٩٠	٠,٩٥٠	٠,٩٧٥
٣٠	٠,٨٥	٠,٩٠١	١,٠٠٠	٠,٨٥	٠,٩٠١	١,٠٠٠

الجزء الثاني: حالات الالتفاف لليسار في الشوارع ذوات الاتجاهين[جـ]

نسبة الالتفاف ٪	عامل التعديل					
	عرض الشارع مع منع الوقوف			عرض الشارع مع السماح بالوقوف		
	أقل من أو يساوى ١٥ قدما	١٦–٣٤ قدما	أكبر من أو يساوي ٣٥ قدما	أقل من أو يساوى ٢٠ قدما	٢١–٣٩ قدما	أكبر من أو يساوي ٤٠ قدما
صفر	١,٣٠	١,١٠	١,٠٥٠	١,٣٠	١,١٠	١,٠٥٠
١٠	١,٠٠	١,٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠	١,٠٠	١,٠٠٠
١٥	٠,٩٠	٠,٩٥	٠,٩٧٥	٠,٩٠	٠,٩٥	٠,٩٧٥
٢٠	٠,٨٥	٠,٩٠	٠,٩٥٠	٠,٨٥	٠,٩٠	٠,٩٥٠
٣٠	٠,٨٠	٠,٨٥	٠,٩٠٠	٠,٨٠	٠,٨٥	٠,٩٠٠

الجزء الثالث: تعديلات الشاحنات والحافلات العابرة

النسبة المئوية	عامل التعديل	النسبة المئوية	عامل التعديل
صفر	١,٠٨	١٥	٠,٩٠
٥	١,٠٠	٢٠	٠,٨٥
١٠	٠,٩٥		

الجزء الرابع: عوامل الحافلات المحلية – منطقة وسط المدينة (الحافلات تقف في الطرف القريب مع منع الوقوف

عدد الحارات وعرضها	عدد الحافلات في الساعة					
	صفر	٢٠	٤٠	٦٠	٨٠	٩٠ أو أكثر
حارتان (٢٤ قدماً)	٠,٥٩	٠,٩٢	٠,٨٢	٠,٧٣	٠,٦٣	٠,٥٨
٣ حارات (٣٦ قدماً)	٠,٦٧	٠,٩٢	٠,٨٦	٠,٧٧	٠,٧١	٠,٦٧
٤ حارات (٤٨ قدماً)	٠,٧٤	٠,٩٥	٠,٩٠	٠,٨٤	٠,٧٧	٠,٧٤
– المناطق المحيطة بأطراف المدينة[جـ]						
حارتان (٢٤ قدم)	٠,٥٨	٠,٩٥	٠,٨٧	٠,٧٩	٠,٧٢	٠,٦٧
٣ حارات (٣٦ قدم)	٠,٦٧	٠,٩٦	٠,٩٠	٠,٨٤	٠,٧٨	٠,٧٤
٤ حارات (٤٨ قدم)	٠,٧٤	٠,٩٧	٠,٩٢	٠,٨٥	٠,٨٤	٠,٨١

(أ) *Highway Capacity Manual,* Special Report 87, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., Table 6-4, p. 140.

القدم الواحد = ٠,٣٠٤٨ متر

(ب) المرجع السابق، الجدول ٦–٥، ص ١٤١، الجدول ٦–٦، ص ١٤٢.

(جـ) المرجع السابق، الجدول ٦–١١، ص ١٤٣.

ولهذا السبب، فقد صدرت في منتصف عام ١٩٨٥م الطبعة الثالثة من «دليل سعة الطرق» الذي أعده ونشره، أيضًا، مركز أبحاث النقل الأمريكي (المرجع رقم ١٥). والدليل الجديد تحديث لدليل ١٩٦٥م مع إضافة نتائج الأبحاث وعدد من الموضوعات المهمة الأخرى.

وقد أوردنا في نهاية هذا الكتاب ملحقاً، بالفوارق الأساسية بين الطبعة الثانية ١٩٦٥م والطبعة الثالثة ١٩٨٥م لدليل سعة الطرق، وذلك محاولة منا لتقديم آخر ما توصلت إليه العلوم في مجال هذا الكتاب.

سعة الطرق المائية Waterway Capacity. نادرًا ما تكون حركة المرور كثيفة في الطرق المائية المفتوحة بحيث توجد قيودًا حادة في سعة الطرق. ولكن يمكن أن تحدث تلك القيود الحادة في القنوات الضيقة والأهوسة ومداخل المرافئ. وتصبح سعة الطريق المائي، عندئذ، هي قدرة هذه القنوات أو الأهوسة أو المداخل على استيعاب المرور ضمن الوقت المحدد والقواعد المعمول بها. ففي القنوات المفتوحة، تحدد المسافة المطلوبة للوقوف المسافة الفاصلة أو التقاطر بين السفن. وفي حالة عبور الأهوسة، فإن التقاطر يساوي تلقائيًا الوقت اللازم لحركة المراكب أو المقطورات عبر تلك الأهوسة. ويتراوح الوقت بين ٢٠ دقيقة و ساعة واحدة أو أكثر حسب مقاس الهويس وسعة التدفق خلاله، كما يعتمد، أيضاً، على عدد الوحدات المائية المقطورة. انظر الفصل السادس.

سعة الطرق الجوية Airway Capacity. للحصول على أقصى سعة جوية آمنة، فقدقسمت الأجواء إلى مستويات طبقية سمك الواحدة منها ١٠٠٠ أو ٥٠٠ قدم (٣٠٤ أو ١٥٢ متراً) وخصص كل نوع معين من الطائرات حسب اتجاهها وصنفها للمستوى المناسب. وعادة ما تحد قدرة المدرج لاستقبال الطائرات وإقلاعها من سعة الطرقات الجوية. وتقيد سعة الهبوط تقييداً خاصا عندما تكون الأحوال الجوية رديئة بحيث تلجأ الطائرات لاستعمال أجهزة الهبوط الآلية (الطيار الآلي) وتستغرق هذه العملية وقتًا أطول من الهبوط العادي بالرؤية المجردة للطيار عندما تكون الرؤية حسنة، ونتيجة لذلك، تتراكم الطائرات حول المطار ويتزايد عددها بانتظار السماح لها بالهبوط، أي الطيران بنمط محدد مسبقًا أثناء انتظارها بحيث تهبط تدريجيًا مع دورانها حول المطار حتى يصل دورها للهبوط. وتقوم عدة عوامل حاليًا بتقييد سعة الطرق الجوية وهي ازدياد عدد الطائرات في الجو وازدياد سرعة طيرانها، والتي يقابلها زيادة في المجال الجوي بين الطائرات الضروري لسلامة الطيران والمناورة.

ويستطيع مدرج المطار استيعاب مابين ٤٠ و ٦٠ عملية هبوط وإقلاع في الساعة تحت ظروف الرؤية الجيدة، وما بين ٢٥ و ٣٠ عملية هبوط وإقلاع في الساعة باستعمال الأجهزة (أي في الظروف الجوية الرديئة). ولهذا، فإن سعة المطار، وبطريقة غير مباشرة سعة الخط الجوي، تعتمد على عدد المدارج وعلى سعة المطار.

وقد برزت مشكلة جديدة مع إدخال الطائرات النفاثة الضخمة للخدمة تتمثل في الاضطراب الهوائي الذي تحدثه تلك الطائرات الضخمة خلفها. وقد أدت التيارات الهوائية الشديدة التي يسبّب حدوثها مرور مثل تلك الطائرات إلى تحطم عدد من الطائرات الصغيرة، مما حدا بوكالة الطيران الاتحادية الأمريكية إلى وضع قيود للمسافات المسموح بها بين الطائرات النفاثة الضخمة والطائرات الصغيرة عند الإقلاع والهبوط، وتتراوح بين ثلاثة وخمسة أميال.

وتخضع جميع الطائرات التي تحلق على ارتفاعات تزيد على ١٠٠٠٠ قدم (٣٠٤٨ متراً)، والتي تشمل معظم الرحلات الداخلية، لقواعد الطيران الآلي باستعمال الأجهزة الإلكترونية.[١٩] وبالإضافة إلى المسافة الرأسية البالغة ١٠٠٠ قدم (٣٠٤ أمتار) التي تفصل بين طبقات الطرق الجوية التي سبق ذكرها، فإن قوانين التحكم بالحركة الجوية تتطلب في حالة الطيران الآلي بالأجهزة أن تكون هناك فجوة زمنية فاصلة قدرها ١٠ دقائق بين الطائرات التي تطير في الخط نفسه وعلى الارتفاع نفسه (بالإضافة إلى مسافة بينية عرضية قدرها ١٠ أميال أو ١٦ كلم). فمثلاً، تحتاج الطائرات التي تطير بسرعة ١٨٠ ميلاً/ ساعة (٢٩٠ كم/ ساعة) فجوة فاصلة قدرها ٣٠ ميلاً بين الطائرات. وتحتاج عند سرعة ٣٠٠ ميل/ ساعة (٤٨٣ كم/ ساعة) فجوة فاصلة قدرها ٥٠ ميلاً (٨٠ كم). والفجوة الزمنية لسرعة ٦٠٠ ميل/ ساعة (٩٦٥ كلم/ ساعة) للطائرات النفاثة هي ١٠٠ ميل (١٦١ كلم). وبناء على هذه الحسابات، فلا نستطيع وضع أكثر من ست طائرات نفاثة في وقت واحد وعلى طريق وارتفاع واحد بين الرياض وجدة بالمملكة العربية السعودية، على سبيل المثال. وقد أصبح الطيران النفاث سريعًا جدًا لدرجة يصعب معها تحقيق سلامة الملاحة بالاعتماد على الرؤية، فقط، وبالتالي، يجب الإعتماد على الملاحة بالأجهزة والتقيد بالشروط والقوانين الصارمة الموضوعة للسلامة حتى أثناء الاقتراب من المدرج عند الهبوط.

وتحتاج طائرات النقل المروحية التقليدية مابين ١٢ و ١٥ ميلاً مربعاً من مجال الاقتراب أو الإقلاع عند المطارات، فيما تحتاج طائرات النقل النفاثة إلى ما يزيد على ١٠٠٠ ميل مربع. وعلى سبيل المثال، حددت الجهات المسؤولة عن الطيران في أمريكا ممرات جوية مرتفعة عبر الولايات المتحدة تربط الساحل الشرقي بالساحل الغربي لأمريكا على ارتفاعات تتراوح بين ١٧٠٠٠ و٢٢٠٠٠ قدم (٥١٨٢ و ٦٧٠٦ أمتار)، ولا تستطيع أية طائرة استعمال هذه الممرات الجوية أو اختراقها دون الحصول على إذن خاص من برج مراقبة الحركة الجوية المعني بذلك. وتتم المحافظة على الفصل بين الطائرات باستخدام الرادار للطيران على ارتفاع ٢٤٠٠٠ قدم (٧٣١٥ متراً).

وسائل النقل الأخرى Other Modes. تعتمد سعة مجموعة من خطوط الأنابيب على سعة الخط الواحد منها والذي سبق أن ذكرنا أنها تعتمد على شدة ضغط الضخ ومقاومة جريان السائل... إلخ، بالإضافة إلى عدد الخطوط. وهناك عديد من الأنظمة التي تتكون من خطين أو ثلاثة أو حتى أربعة خطوط من الأنابيب أو أكثر. وبذلك تصبح السعة مساوية لمضاعفات السعة عبر الخط الواحد.

وتعتمد سعة السيور المتحركة على سرعتها ومقدار حمولتها لكل قدم طولي من السير (وهذه، بدورها، تعتمد على عرض السير وقوته). وقد بحثت هذه الأمور سابقًا أيضًا.

وأما العربات المعلقة فسعتها ثابتة نسبيًا، إذ لاتتفاوت السرعة كثيرًا في مثل هذه المنشآت. وتعتمد السعة على حمولة العربة وعدد العربات وسرعة حركة السلك الناقل لها. وجميع هذه العوامل ثابتة، عادة، ضمن حدود ضيقة لمعظم هذه المنشآت. ويمكن إضافة بعض العربات الأخرى للسلك الناقل ولكن ضمن حدود قليلة

---

(١٩) *Airt Transport Facts and Figures 1959,* Air Transportation of American, Washington, D. C., p. 9.

بسبب محدودية تصميم السلك الناقل وقوة تحمل دعاماته ومحدودية التقوس المسموح به بين الأبراج، والتي تعتمد جميعها على عدد معين من العربات المحملة والذي لا يمكن تجاوزه دون الإخلال بالسلامة.

تلخيص السعة : يبين الجدول (٨,٧) قيمًا نمطية لسعة مسارات وسائل النقل المختلفة.

سهولة الوصول والتكرار
ACCESSIBILITY AND FREQUENCY

لا يكفي أن يمتلك نظام نقل ما سعة نقل كافية ولكن يجب أن توضع هذه السعة ضمن مسافة معقولة لوصول المستخدمين لنظام النقل إليه وإلا فسيكون الوضع كما لو لم تكن هذه الخدمة موجودة أصلاً. ولذا، فإن سهولة الوصول تعتمد على موقع المسار وتصميم شبكة النقل، كما ترتبط سهولة الوصول، أيضًا، بمرونة مسار وسيلة النقل المعينة. وتتميز كل من الدراجة العادية والسيارة بأنها وسيلة نقل في متناول اليد تستطيع الحركة في أي مسار يختاره مستخدمها من المسارات الكثيرة المتاحة. ويعود الانتشار الواسع لاستخدام السيارة استخداماً كبيراً إلى سهولة توافرها ومرونة مساراتها. كما توفر عربات السكك الحديدية المسطحة سهولة وصول السيارات والمركبات التي تسير على الطرق إلى خطوط السكك الحديدية بين المدن.

الموقع Location. تتحدد فائدة وسيلة النقل لخدمة منطقة معينة في نظام النقل على الطرق البرية بدرجة قربها من طرق النقل العابر – كالطرق الشريانية والطرق السريعة. فكما كان العمران في الماضي ينتعش ويكثر قرب محطات السكك الحديدية، فإنه يكثر اليوم حول الطرق السريعة. ولا يقتصر الاهتمام على القرب من المسارات، ولكنه يشمل، أيضًا، إمكانية الدخول إليها واستخدامها، ودرجة تكرار مواقع محطات التوقف للسكك الحديدية، وخطوط الحافلات أو تكرار المخارج والمداخل للطرق السريعة، أي المسافة البينية لها. وقد تستطيع الصناعات شحن منتجاتها بوساطة الشاحنات، ولكن لا يزال عديد من الشركات بحاجة إلى موقع على سكة الحديد لاستلام المواد الخام والوقود.

ويمكن لمواقع المطارات أن تزيد أو أن تقلل مزايا السرعة للسفر عن طريق الجو. وفي الواقع، لسوء الحظ، أنه أحيانًا ما يكون الوقت الذي يستغرق في الذهاب إلى المطار والعودة منه مماثلاً لزمن الرحلات الجوية نفسها أو يزيد. ويساعد وجود محطات السكك الحديدية في مواقع داخل المدينة على إضفاء ميزة للقطارات من حيث الزمن مقارنة بالنقل الجوي عند تنافسهما على نقل الحركة المنبثقة من داخل المدينة، ولكن القطارات لم تستفد من هذه الميزة كما ينبغي. وعمومًا، تصمم شبكات النقل العام السريع بحيث تتجه نحو وسط المدينة، وتُستغل سعتها القصوى خلال ساعات الذروة عند انتقال الموظفين إلى أعمالهم صباحًا (٧ إلى ٨ صباحًا) وعند خروجهم منها ظهرًا (٢-٣ بعد الظهر).

ويمكن، جزئيًا، تسهيل الوصول إلى الأماكن التي تقع بعيدة عن مواقف الحافلات أو القطارات أو الشوارع الرئيسة، وذلك بإنشاء أنظمة تغذية وتجميع وتوزيع. فخطوط الحافلات تنقل الركاب من بدايات الرحلات أو نهاياتها إلى محطات النقل العام السريع أو قطارات الضواحي أو إلى محطات خطوط الحافلات السريعة. كما أن

الجدول (٨,٧): سعة مسارات وسائل النقل المختلفة.

نوع المسار	السرعة المتوسطة	قطار أو مركبة – ساعة	عدد القطارات أو المركبات... إلخ
١) السكك الحديدية لخط طوله ١٠٠ ميل			
– سكة مفردة (السعة النظرية)			
١٠ تفريعات جانبية	١٠ أميال/ ساعة[1]	٢٤٠	٢٤ في اليوم
	٢٠ ميلاً/ ساعة	٢٤٠	٤٨ في اليوم
	٤٠ ميلاً/ ساعة	٢٤٠	٩٦ في اليوم
٢٠ تفريعة جانبية	١٠ أميال/ ساعة	٤٨٠	٤٨ في اليوم
	٢٠ ميلاً/ ساعة	٤٨٠	٩٦ في اليوم
	٤٠ ميلاً/ ساعة	٤٨٠	١٩٢ في اليوم
– سكة مفردة (السعة العملية)			
(تحكم مركزي – سعة عملية)			٢٠ – ٣٠ في اليوم
(تحكم مركزي – سعة كامنة)			٤٥ – ٦٠ في اليوم
– سكة مزدوجة (السعة النظرية)			٨٠ – ١٠٠ في اليوم
طول البلوك ميل واحد (طول القطار ميل واحد)			
الفجوة الفاصلة بلوكان	٢٠ ميلاً/ ساعة	٢٤٠٠	٤٨٠ في اليوم
	٤٠ ميلاً/ ساعة	٢٤٠٠	٩٦٠ في اليوم
طول البلوك ميل واحد (طول القطار ميل واحد)			
الفجوة الفاصلة ٣ بلوكات	٢٠ ميلاً/ ساعة	١٦٠٠	٣٢٠ في اليوم
	٤٠ ميلاً/ ساعة	١٦٠٠	٦٤٠ في اليوم
– سكة مزدوجة (السعة العملية)			
بلوك يدوي أو آلي (سعة عملية)			٦٠ – ٨٠ في اليوم
بلوك يدوي أو آلي (سعة كامنة)			٨٠ – ٢٠٠ في اليوم
تحكم مركزي			١٦٠– ٢٠٠ في اليوم
– خط من أربع سكك (السعة العملية)			٣٠٠ – ٣٦٠ في اليوم
(السعة الكامنة)			٣٦٠ – ٤٦٠ في اليوم

تابع الجدول (٨,٧).

٢) النقل العام السريع بسكة واحدة في الاتجاه الواحد؛ T = ٤٠ ثانية، K = ٣,١

السرعة العملية	معدل التسارع	عدد الركاب في الساعة (القاطر بالثانية)		
		L=٤٠٠ قدم[ب]	L=٥٠٠ قدم	L=٦٠٠ قدم
٢٠ ميلاً/ ساعة	٣,٠ أميال/ ساعة/ ثانية	(٨٣) ٦٠,٠٠٠	(٨٧) ٧٢,٤٠٠	(٩٠) ٨٣,٢٠٠
٣٠ ميلاً/ ساعة	٣,٠ أميال/ ساعة/ ثانية	(٩٤) ٥٦,٢٠٠	(٩٦) ٦٨,٣٠٠	(٩٨) ٧٩,٧٠٠
٤٠ ميلاً/ ساعة	٢,٦٥ ميل/ ساعة/ ثانية	(١٠٦) ٥٢,١٠٠	(١٠٩) ٦٣,٣٠٠	(١١١) ٧٣,٢٠٠
٥٠ ميلاً/ ساعة	٢,٠ ميل/ ساعة/ ثانية	(١٢٦) ٤٤,٦٠٠	(١٢٧) ٥٥,١٠٠	(١٢٩) ٦٥,٠٠٠

ملاحظة: بيانات السعة للنقل العام السريع مأخوذة من المرجع:

Urban Rail Transit by Lang and Soberman, Joint Center for Urban Studies, the M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1964, p. 65.

٣) الطرق: (مستوى خدمة A و B و C و D و E):

مستوى A لطريق مفرد بحارتين واتجاهين	: تدفق حر	بسرعة ٦٠ ميلاً/ ساعة أو أكثر و ٤٠٠ مركبة/ ساعة
مستوى B لطريق مفرد بحارتين واتجاهين	: تدفق مستقر	بسرعة ٥٠ ميلاً/ ساعة أو أكثر و ٩٠٠ مركبة/ ساعة
مستوى C لطريق مفرد بحارتين واتجاهين	: تدفق مستقر	بسرعة ٤٠ ميلاً/ ساعة أو أكثر و ١٤٠٠ مركبة/ ساعة
مستوى D لطريق مفرد بحارتين واتجاهين	: تدفق يقترب من التدفق غير المستقر	بسرعة ٣٥ ميلاً/ ساعة أو أكثر و ١٧٠٠ مركبة/ ساعة
مستوى E لحارة واحدة في اتجاه واحد	: أقصى تدفق عند	سرعة ٣٠ ميلاً/ ساعة تقريبا و ٢٠٠٠ مركبة/ ساعة

ملاحظة: سعات الطرق المذكورة مأخوذة من المرجع:

Special Report 87, Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1966, Table 9, p. 66.

٤) أمثلة لسعة التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية: عند مستوى خدمة هـ، ومعامل تحميل قدره ٠,٣٠، ونسبة فترة الضوء الأخضر إلى دورة الإشارة يساوي ٠,٥٠، وعامل ساعة الذروة يساوي ٠,٨٥، ونسبة ١٠٪ للالتفاف لليمين، ونسبة ١٠٪ للالتفاف لليسار، ونسبة الشاحنات والحافلات العابرة هي ٥٪، وهناك ٢٠ حافلة محلية في الساعة تقف عند الطرف القريب للتقاطع.

تابع الجدول (٧,٨).

عدد السكان	السعة – مركبة في الساعة					
	عرض الشارع من الرصيف للخط الوسطى الفاصل لشارع مفرد باتجاهين والوقوف ممنوع			عرض الشارع من الرصيف للخط الوسطى الفاصل لشارع مفرد باتجاهين والوقوف ممنوع		
	٢٤ قدما	٣٦ قدما	٤٨ قدما	٢٤ قدما	٣٦ قدما	٤٨ قدما
١٠٠,٠٠٠	٨٤٦	١٣٤٠	١٨٥٠	٦٨٥	١٠٥٦	١٣٩٦
٢٥٠,٠٠٠	٩٠٠	١٤٢٦	١٩٦٨	٧٢٨	١١٢٥	١٤٨٥
٥٠٠,٠٠٠	٩٥٤	١٥١٢	٢٠٨٦	٧٧٢	١١٩٣	١٥٧٥

ملاحظة: هذه القيم مأخوذة من الأشكال ٦-٥، ٦-٨ و٦-١١ في الصفحات ١٢٤ و١٣٥ و١٤٣، على التوالي، من دليل سعة الطريق.

٥) مدارج الطائرات: السعة العملية في الساعة:	قواعد الطيران بالأجهزة	قواعد الطيران بالرؤية
مدرج مفرد (عملية الهبوط، عملية الإقلاع)	٤٢ – ٥٣	٤٥ – ٩٩
مدرجان متوازيان يبعدان عن بعضهما ٥٠٠٠ قدم أو أكثر	٨٤ – ١٠٦	٩٠ – ١٩٨
مدرجان على شكل رقم ٧ وعمليات الهبوط والإقلاع المعتمدة على بعضها تتم في الاتجاه الذي يبتعد عن نقطة الالتقاء	٥٠ – ٥٧	٥٣ – ١٠٨

ملاحظة: بيانات سعة مدارج المطارات مأخوذة من:

Fedral Aviation Adminstration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 1969, Table I, pp. 6-7.

تابع الجدول (٧,٨).

٦) خطوط الأنابيب:(للنفط بكثافة ٤٠° API ، وكثافة نوعية ٠,٨٢٥ بلزوجة ٤٠ ثانية سيبولت عالمية)		
قطر الأنبوب:	بوصتان	٤ – ١٥٠ برميلاً في الساعة
	٤ بوصات	١٠ – ٤٠٠ برميل في الساعة
	٦ بوصات	٥٠ – ٢٠٠٠ برميل في الساعة
	٨ بوصات	١٠٠ – ٤٠٠٠ برميل في الساعة
	١٠ بوصات	١٠٠ – ٤٠٠٠ برميل في الساعة
	١٢ بوصات	٤٠٠ – ٥٦٠٠ برميل في الساعة
٧) السيور المتحركة:(السعة الفعلية لسير يحمل فحماً سائباً – وتختلف السعة مع أنواع المواد المنقولة وكثافاتها)		
سير بعرض ٢٤بوصة	٢٠٠ قدم/ دقيقة	٦٥ طناً في الساعة
	٤٠٠ قدم/ دقيقة	١٣٠ طناً في الساعة
	٦٠٠ قدم/ دقيقة	١٩٦ طناً في الساعة
سير بعرض ٤٨بوصة	٢٠٠ قدم/ دقيقة	٣٢٥ طناً في الساعة
	٤٠٠ قدم/ دقيقة	٦٤٩ طناً في الساعة
	٦٠٠ قدم/ دقيقة	٩٧٤ طناً في الساعة
	٢٠٠ قدم/ دقيقة	١٢٩٨ طناً في الساعة
٨) العربات المعلقة		٦ – ١٠٠ طن في الساعة

ملاحظة : بيانات السيور المتحركة مأخوذة من المرجع :

Handbook of Belting Conveyor and Elevator, 1953 Edition, The Goodyear Tire and Rubber Company, Akron, Ohio, Section 6.

(أ) ميل واحد / ساعة = ١,٦٠٩كم/ ساعة

(ب) قدم واحد = ٠,٣٠٤٨ متر

الشاحنات تسهل الوصول بين المناطق النائية ومستودعات تخزين البضائع استعدادًا لشحنها بوساطة القطارات أو الطائرات أو الطرق الرئيسة وبالعكس. وأحيانًا، تُنشأ مواقف سيارات عند محطات توقف مركبات النقل العام لخدمة الركاب الذين يأتون بسياراتهم إلى هناك من أجل ركوب تلك المركبات العامة.

أما التنقل داخل المدن، حيث يعتمد على السير على الأقدام للوصول إلى خطوط النقل العام، فيجب اختيار مواقع مسارات خطوط النقل العام بالحافلات ومسارات النقل العام السريع بحيث تكون متقاربة من بعضها بحيث لا يتطلب الوصول إلى أي منها أكثر من خمس إلى عشر دقائق سيرًا على الأقدام. وهذا يتطلب أن تكون المسافة بين المسارات مابين ٠,٢٥ و ٠,٥٠ ميل (٤٠٢ إلى ٨٠٥ أمتار) ولا تتحقق المثالية دائمًا في الحياة العملية. إذ تُدخل تعديلات على هذه المسافات البينية العامة على أساس دراسات بدايات الرحلات ونهاياتها، ودراسات توقيع الرحلات المرورية على الشبكة. وليس هناك اتفاق عام على مقدار المسافة البينية المناسبة بين الطرق السريعة والطرق الدائرية حول المدن الكبرى، ولكن يبدو أن المسافة التي تتراوح بين ٦ و ١٠ أميال (٩,٧ إلى ١٦,١ كم) تمثل نمطًا سائدًا. كما أن المسارات الثابتة، سواء أكانت خطوط سكك حديدية، أم نظام نقل عام سريع، أم نظام نقل عام فردي، أم حتى طريقاً سريعاً، لا توفر المرونة وسهولة الوصول اللازمتين لخدمة المناطق النائية عنها.

وقد ذكر السيد ولينجتون (Wellington) منذ زمن بعيد أن توافر المنقولات يتناسب عكسيًا مع بعد الناقل عن مصدرها.[٢٠] ولايزال هذا المفهوم العام صحيحًا. وتختار مواقع مرافق شحن البضائع اختياراً مثالياً قرب مصادر تلك المنقولات، ولكن، لو وجدت هذه المرافق بالقرب من خطوط السكك الحديدية بين المدن وبالقرب من مسارات الطرق، فإن ذلك يؤدي إلى تلافي نقل البضائع لمسافات طويلة عبر مناطق المدينة المزدحمة. وتساعد محطات الشاحنات الآلية للبضائع على نقل البضائع بين مركبات النقل بين المدن والمركبات المحلية، كما تقوم تلك المحطات بوظيفة تحويل البضائع بين الخطوط المختلفة. إذ إن بعض أنواع المركبات الثقيلة تمنع من دخول شوارع المدينة، كما أن بعض قوانين نقابات العمال في بعض البلدان تتطلب استخدام سائقين محليين من سكان المدن أنفسها. وتتحد هذه العوامل لتحسين دور عامل سهولة الوصول بحيث يكون هناك موقع على أطراف المدينة يقع قريبًا من الطرق السريعة بين المدن مع سهولة الدخول إلى تلك الطرق. ويمكن، بالتالي، تحسين ذلك بوساطة الطرق الحرة السريعة الأخرى التي تخترق أجزاء المدينة المختلفة.

تكرار الخدمة Frequency of Service. قد يكون من الممكن، أحيانًا، توفير السعة اليومية الإجمالية المطلوبة للنقل في اليوم الواحد في مركبة ضخمة كباخرة أو قطار أو طائرة، أو باستخدام سلسلة من تلك المركبات المتراصة. ولكن، في هذه الحالة، قد لا نستطيع تلبية الطلب إذ يجب توفير الخدمة عند الحاجة إليها، ولا يمكن تحقيق ذلك إلا عندما يكون هناك تكرار مناسب لحركة النقل. ولتوفير التكرار المناسب، يجب تذليل الصعوبات المتعلقة بالجدولة الزمنية وتوافر المركبات.

---

(٢٠) A. M. Wellington, *"The Economic Theory of the Location of Railways"*, Wiely, New York, 1916 edition, pp. 712-713.

ولا يشكل تكرار الخدمة صعوبة للمستعمل الذي يقود سيارته أو شاحنته الخاصة إذ يجد مركبته في أي وقت يحتاجها . ولكن يعد تكرار الخدمة مشكلة قائمة بالنسبة لأنظمة النقل العام أو المعدة للأجرة مثل خطوط الحافلات وخدمات النقل العام السريع وقطارات الضواحي والنقل بين المدن المتاح بجميع وسائل النقل .

والسؤال المهم في خدمات النقل المجدولة لرحلات حافلات النقل العام أو القطارات أو الطائرات أو الشاحنات هو : كم عدد الرحلات المطلوبة وفي أي ساعة يجب توقيت هذه الرحلات وتوفيرها؟ فمثلاً ، تتطلب خدمات النقل العام أن تكون سعتها وتقاطرها مركزة على ساعات الذروة الصباحية والمسائية (٧-٩ صباحًا ومن ٢-٣ بعد الظهر) .

وتشكل عملية التوفيق بين تكرار الخدمة والطلب عليها مسألة حيوية ، إذ يكون من الإسراف أن يتم إنتاج خدمة نقل أكثر من الحاجة أو أكثر من الخدمة المستغلة . ويؤدي عدم كفاية السعة إلى إنخفاض مستوى الخدمة المقدمة . وتتمثل المشكلة في مدى القدرة على تمويل شراء عدد كاف من المعدات وتشغيله لتوفير مستوى الخدمة المطلوبة . وبذلك ، تصبح السرعة عاملاً مهماً في ذلك . وليس المقصود بالسرعة هنا سرعة حركة المركبة ، فقط ، بل أيضًا سرعة خدمة الطائرة أو القطار أو السيارة أو الحافلة في المحطات ، والتي تشمل عمليات التحميل والتنزيل والتغيير من مركبة لأخرى والتحويل والصيانة وتموين المركبة كي تصبح جاهزة للقيام برحلة أخرى ، أو ما يسمى بسرعة التدوير . ويمكن أن ينتج عن بطء عملية التدوير قصور في استغلال المعدات وقيام المركبة بعدد من الرحلات أقل من المطلوب وإهدار لرأس المال الذي كان يمكن الاستفادة منه لشراء معدات أخرى مطلوبة . وسنناقش في الفصل العاشر المشكلات التي ينبغي أخذها في الاعتبار عند تصميم المحطات للحصول على تشغيل فعال لها .

ولأن بعض أنواع معدات النقل تتطلب استثمارات رأسمالية وتكاليف تشغيلية كبيرة ، فإن ذلك يغري بتخفيض تكرار الخدمة من أجل الحصول على أقصى استغلال للسعة المرتفعة لتلك المعدات . فمثلاً ، تعطي الطائرة ذات الـ٤٠٠ مقعد مردودًا ماديًا جيدًا للخدمة عند توافر طلب كاف لملئها بتكرار معقول للخدمة . ولكن عندما يُقلل عدد الرحلات من أجل تجميع عدد كاف من الركاب لملء مقاعد الطائرة ، فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض مستوى الخدمة المقدمة . وقد يكون من الأجدى في هذه الحالة استخدام طائرات أصغر حجمًا ولكن مع زيادة عدد الرحلات . وتنطوي هذه المسألة على الموازنة بين زيادة عامل التحميل الاقتصادي اللازم لتحقيق عمليات تشغيل مربحة ماديًا مقابل انخفاض مستوى الخدمة المقدمة . وقد تؤدي أزمة الطاقة في الآونة الأخيرة إلى الاتجاه نحو تقليل تكرار الخدمة .

وهناك اتجاه في النقل بالسكك الحديدية إلى تأخير العربات في المحطات حتى يتجمع عدد كبير من العربات في القطار الواحد . وبذا ، تقل التكاليف التشغيلية لكل قطار - ميل ويتم الاستغلال الأقصى للقدرة المحركة ولأطقم تشغيل القطارات والمحركات . ويشير الإنتاج العالي لقطارات الشحن الذي يصل إلى ١٠٠٠ طن إجمالي لكل قطار - ساعة إلى الكفاءة العالية التي يمكن تحقيقها ، ولكن ذلك مقابل خسائر تتمثل في زيادة الاستثمار اللازم في المنشآت الثابتة وانخفاض مستوى الخدمة المقدمة لأصحاب البضائع وشركات الشحن ، مع فقد السمعة الحسنة وانخفاض الطلب على الخدمة حيث يتحول الزبائن إلى وسائل أخرى توفر لهم سرعة توصيل شحناتهم .

ويجب تحديد التكرار المطلوب للخدمة من خلال تحليل بيانات دراسة للطلب (انظر الفصل الخامس عشر). ولا يمكن وضع قواعد محددة لذلك، إذ يجب الحصول على التكرار المناسب للخدمة من جراء دراسة كل حالة على حدة. فمثلاً، وجدت بعض الخطوط الحديدية أنه يمكن تحقيق وفر زمني إجمالي عن طريق حجز العربات حتى يتجمع عدد منها يكفي لتسيير قطار كامل إلى نقطة بعيدة دون التوقف في محطات وسطية للتحميل. وبالمثل، يمكن للشاحنات التي تنقل الحمولات لمسافات طويلة أن تتلافى التوقف في محطات الشحن الوسطية. ويجب تقويم كل حالة على حدة حسب خصائصها الفريدة.

أسئلة للدراسة

QUESTIONS FOR STUDY

١ - باستعمال القيم النمطية أو المتوسطة لسعات المركبات، حدد كم عدد الوحدات اللازمة من كل نوع من وسائل النقل لنقل ١٠٠٠٠ طن لمسافة ٥٠ ميلا خلال ٢٤ ساعة. ملاحظة: يجب أن تكون المركبات فارغة في رحلة العودة ويجب أن تسير بالسرعة المناسبة لكل نوع من المركبات.

٢ - ما مقدار القدرة الحصانية المستخدمة فعليًا لتحريك قطار وزنه الإجمالي ٨٠٠٠ طن ويسير بسرعة ٣٠ ميلاً / ساعة على سكة تميل بمقدار ٠,٥٪، مع افتراض أن عربة القطار الفارغة تزن ٣٣ طنا، وحمولتها ٦٠ طنا، وأن القطار يسحب بقاطرة ديزل كهربائية قدرتها ٨,٠٠٠ حصان (٤ وحدات قدرة كل منها ٢٠٠٠ حصان وتزن ١٢٠ طنا)؟

٣ - ما مقدار التخفيض الممكن في القدرة الحصانية لشاحنة بمحرك قدرته ٢٤٠ حصانًا ووزنها الإجمالي ٤٠٠٠٠ رطل إذا خفّضنا وزنها الفارغ البالغ ١٥ طنًا بنسبة ١٠٪، مع بقاء الأداء بالطن - ميل ثابتًا؟ وما الوزن الإضافي للحمولة الذي يمكن زيادته للمحرك نفسه الذي قدرته ٢٤٠ حصانًا؟

٤ - حدد القيم النمطية لإنتاجية وسائل النقل المختلفة بمقياس طن صاف - ميل لكل مركبة - ميل، واشرح أهمية هذا المقياس.

٥ - حدد القيمة النظرية لسعة السكة وعدد القطارات في اليوم لـ: (أ) خط سكة حديدية مفرد بطول ١٢٠ ميلا مع تفريعات جانبية للسكك تقع عند كل ١٢ ميلاً من المسافة، وتسير القطارات فيه بسرعة ٢٤ ميلاً / ساعة. (ب) خط سكة حديدية مزدوج بطول ١٢٠ ميلا، وطول بلوك الإشارة فيه ١,٥ ميل، ويستحوذ كل قطار على ثلاثة بلوكات، ويصل متوسط سرعة القطار إلى ٤٠ ميلاً / ساعة.

٦ - إذا أعطيت البيانات التالية لعملية سكة حديدية حيث يجب شحن ٤٠,٠٠٠ طن إجمالي في اليوم لمسافة ١٠٠ ميل، ويبلغ أقل زمن ممكن لحركة القطار الذي يزن ٤٠٠٠ طن إجمالي على السكة ٢,٣٥ ساعة، في حين يبلغ متوسط ذلك ٤ ساعات. والجدول التالي يوضح الأزمان الفعلية لعدة أنواع من القطارات:

وزن القطار (طن)	٢٥٠٠	٣٠٠٠	٥٠٠٠	٦٠٠٠	٧٠٠٠	٨٠٠٠
زمن الحركة على السكة (دقيقة : ساعة)	١:٥٥	٢:٠٥	٢:٣٨	٢:٥٦	٣:١٤	٣:٣٢

حدد الزمن الأمثل للحركة على السكة ومقدار الوقت الذي يستغرقه القطار ذو الزمن الأمثل من هذه القطارات العديدة في التداخلات المرورية (اعتمد على البيانات التى استخدمها كيمبال).

٧ - باستخدام أزمان الحركة على السكة للقطارات المعطاة في السؤال السادس، قم بإعداد رسم بياني للأداء (قطار - ساعة) ثم حدد من ذلك سعة السكة التي تستغلها هذه القطارات فعلاً، وذلك بوحدة قطار - ساعة.

٨ - ترغب شركة تعدين في شحن ٣٢٠٠٠ طن من خامات المعادن في اليوم المؤلف من ٨ ساعات عمل إلى موقع يقع على شاطئ بحيرة تبعد ٤٠ ميلاً. وإذا افترضنا أن معدل السرعة ٢٠ ميلاً/ ساعة، كم شاحنة وكم حارة من حارات الطريق نحتاج لإتمام هذه الحركة؟ وإذا استعملنا سكة حديدية بدلاً من الشاحنات، كم سكة وكم قطاراً نحتاج في هذه الحالة؟ هل يمكن استعمال السيور المتحركة في هذه الحالة؟ كم سفينة نحتاج لشحن هذه الكمية من خامات المعادن عبر البحيرة إذا عملنا مدة ٨ ساعات في اليوم، فقط؟

٩ - ما سعة الخدمة وما مستوى الخدمة الذي نستطيع الحصول عليه من طريق سريع مقسوم ذي ست حارات (٣ في كل اتجاه)، عند سرعة ٤٠ ميلا/ ساعة، وتحت أحوال مثالية، بتدفق حر الحركة، بعامل لساعة الذروة قيمته ٠,٩١؟ ما قيمة النسبة (v/c)، أي نسبة الحجم المروري إلى السعة؟

١٠- طريق مقسوم إلى أربع حارات (٢ في كل اتجاه)، يقع في منطقة تلال (بميول تتراوح بين ١٪ و ٢٪)، وعرض كل حارة ١١ قدمًا وأكتافها بعرض ٤ أقدام، ويحتوي المرور على نسبة ٨٪ شاحنات وحافلتين بالساعة في المتوسط. فإذا كان المرور يتحرك بسرعة ٦٠ ميلا بالساعة بحالة تدفق حر، ما السعة الكلية لهذا الطريق؟

١١- يلزم استيعاب حركة ٦٠٠٠ سيارة بالساعة، في الأقل، وذلك عند سرعة ٧٠ ميلا بالساعة على طريق بري. ما مواصفات التصميم اللازمة لهذا الطريق وما مستوى الخدمة الذي سيتحقق؟

١٢- يراد تصميم مطار لسعة دنيا بقيمة ٦٠ عملية هبوط وإقلاع بالساعة تحت جميع الحالات، ما عدد المدارج المطلوبة لهذه المواصفات؟

١٣- ما السرعة الواجب توفيرها لسير متحرك بعرض ٣٦ بوصة، مصمم لنقل ١٢٠٠ طن/ ساعة، على مسار مائل يرتفع بدرجة ٠,١٠٪؟ افرض أن طول السير ١٦٠٠ قدم.

١٤- يقع تقاطع، بإشارة ضوئية دورتها تشمل ٥٠ ثانية للأخضر و٣ ثوان للأصفر و٣٧ ثانية للأحمر، في شارع باتجاه واحد في منطقة سكنية وفي مدينة يقطنها ٢٥٠٠٠٠ نسمة، وتبلغ نسبة المركبات التي تلتف إلى اليمين ٢٠٪ من مجموع المركبات، والتي تلتف يسارًا ١٠٪، وتبلغ نسبة الشاحنات والحافلات العابرة ٥٪، كما أن عرض الشارع من الرصيف للرصيف يبلغ ٣٦ قدمًا.

(أ) ما سعة التقاطع في الساعة عند مستوى خدمة C، وعامل تحميل قيمته ٠,٣٠، وعامل ساعة الذروة البالغ ٠,٨٥؟

(ب) ما السعة في الساعة لتقاطع له دورة الإشارة نفسها في (أ) أعلاه ولكنه يقع في منطقة وسط المدينة، لمدينة يقطنها مليون نسمة، مع وجود ٣٠ حافلة تقف عند الطرف القريب من التقاطع في كل ساعة ونسب الالتفاف نفسها والشاحنات والحافلات العابرة السابقة، والتقاطع مصمم لمستوى خدمة (D) بعامل تحميل قدره ٠,٧٠، وعامل ساعة الذروة قدره ٠,٩٠؟ المسافة بين الرصيف والخط الوسطي الفاصل هي ٢٤ قدما.

١٥- يخطط لتشغيل خط نقل عام سريع طول كل عربة من عرباته ٥٠ قدمًا، وسعتها الإجمالية ٢٠٠ شخص شاملة الجالسين والواقفين. فإذا كان متوسط معدل التسارع والتباطؤ ٣ أقدام/ ثانية مربّعة، وزمن التوقف عند المحطات يستغرق ٣٠ ثانية، احسب مقدار التوفير في عدد القطارات اللازمة لنقل ٦٠٠٠٠ شخص في الساعة في قطارات مؤلفة من ١٠ عربات مقابل قطارات مؤلفة من ٨ عربات، واحسب، أيضًا، سرعة الحركة اللازمة لكل منها؟ افرض أن العربات تسير على سكة مقوسة (على شكل أثر رقاص الساعة، بندول) طولها ١٠ أميال وتتباعد المحطات عن بعضها بمسافة نصف ميل، هل يمكن الحصول على توفير في عدد العربات اللازمة لنقل العدد المعطى للركاب عن طريق استعمال أسلوب تشغيل معين دون آخر؟

قـــــراءات مقـترحـــة
SUGGESTED READINGS

1. *Track Capacity and Train performance,* a report of Subcommittee 1, E.E. Kimball, Chairman, Committee 16, American Railway Engineering Associa-tion, Bulletin 462, November 1946, pp.125–144, A.R.E.A., Chicago 5, Illinois.
2. *Proceedings of the A.R.E.A.,* Vol. 22, 1921, pp. 744–759, Vol. 32, 1931, pp. 643-692, American Railway Engineering Association, Chicago 5, Illinois.
3. Unpublished Ph.D theses, Civil Engineering Department, University of Illinois, Urbana, Illinois.
   Mostafa K. K. Mostafa, Actual Track Capacity of a Railroad Division, 1951.
   Wai-Yum Yee, Centralized Traffic Control as a Means of Accelerating Train Movements, 1943.
   Wai-Chiu Chang, A study of the Traffic Capacity of Railways by the application of the Relation between Delays to Train Opration and Number of Trains Operated, 1941.
4. *Highway Capacity Manual,* Highway Research Board Special Report 87, National Academy of Sciences-National Research Council, publication 1328, Washington, D. C., 1965.
5. *The Transportation and Traffic Engineers Handbook,* Institute of Traffic Engineers, John Baerwald, Editor, Washington, D. C., 1976.
6. A. S. Lang and R. M. Soberman, *Urban Rail Transport,* Joint Center for Urban Studies, The Massachusetts Insitutue of Technology press, Cambridge, Massachusetts, 1964.

7. Charles E. DeLeuw and William R. McConochie, *Exclusive Lanes for Express Bus Operation*, paper before the American Transit Association Western Regional Conference, San Francisco, 1963.
8. Robert Horonjeff, Planning Design of Airports, McGraw Hill, New York, 1962.
9. *Airport Capacity Criteria Used in Long-Range Planning*, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Washington, D. C., December 24, 1969, AC 150/5060-3a .
10. *Airport Capacity, A Handbook for Analyzing Airport Designs to Determine Practical Movement Rates and Aircraft Operating Costs*. Airborne Instruments laboratory, Deer Park, Long Island, New York, June 1969.
11. *Airport Site Selection*, Advisory Circular 150/5060-2, Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D. C..
12. FAA Order 7480.1, *Guidelines for Airport Spacing and Traffic Pattern Air-space Areas*. Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D. C.
13. *Bus Use of Highways—State of the Art*, Report No. 143 of the National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1975.
14. *Bus Use of Highways—Planning and Design Guidelines*, Report No. 155 of the National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, Wahsington, D. C., 1975.
15. *Highway Capacity Manual*, Transportation Research Board Special Report 209, National Academy of Sciences-National Research Council, publication 1328, Washington, D. C., 1985.

الفصل التاسع

معايير الأداء ـــ عوامل نوعية الخدمة

PERFORMANCE CRITERIA— QUALITY OF SERVICE FACTORS

يعرّف مستوى الخدمة في هندسة النقل بكمية النقل اللازمة لتغطية طلب معين، أما نوعية الخدمة فتعكس الطريقة التي يتم بها توفير تلك الكمية من حيث السلامة والاعتمادية والمرونة والسرعة وزمن الانتقال من الباب للباب والراحة والاقتصاد في استعمال الطاقة، وأخيراً، تأثير النقل ومرافقه على المجتمع والبيئة.

السلامـة والاعتمـاديـة
SAFETY AND DEPENDABILITY

تتداخل عوامل السلامة والاعتمادية تداخلاً كبيراً يصعب معه مناقشة أحدهما دون الآخر، وهناك التزام ضمني يلتزم به الناقل المؤتمن على الأشخاص والبضائع التي يقوم بنقلها بأن يتم توصيلها إلى محطتها النهائية في حالتها المكتملة والسليمة نفسها التي بدأت بها رحلتها، كما أن هناك إلتزاماً آخر يقضي بأن يتم القيام بالرحلة بترحيل واعتمادية معقولين.

الاعتمادية Dependability . يقصد بالاعتمادية نقل البضائع والركاب وتوصيلهما سالمين، وفي الوقت المحدد، بدون تأخير أو فقد أو عطب أثناء الطريق. وتعد الاعتماديةإحد ى أهم الخصائص التي يمكن أن يتمتع بها الناقل. ويتطلب وجود التلاحم الحيوي بين المؤسسات الصناعية والتجارية وجود تنسيق كامل بينها، إذ يجب وصول

المواد الخام وقطع الغيار بموعدها للمصنع لضمان استمرارية عمليات التصنيع. ويؤدي استنفاذ المخزون المحدود بسبب تأخر عمليات النقل إلى توقف العمل في خطوط التجميع في المصانع. وعادة، لا تكون سرعة حركة الأفراد بحيوية المحافظة على تدفق منتظم للمواد الخام وقطع الغيار والوقود وزيوت التشحيم نفسها. وتأخيرات النقل مكلفة لكل من العامة والناقلين، إذ قد تتعفن الأغذية المنقولة وتفسد نتيجة التأخير، كما أن تكاليف تمويل المخزون من السلع تزداد بسبب طول فترة النقل، كذلك تفقد الصحف والمجلات وأوعية الأخبار قيمتها الوقتية نتيجة التأخيرات. ويعني التأخير للأشخاص تفويت الفرص عليهم وضياع المواعيد وتأخر نقل المرضى والمصابين، وإذا كانت شركة نقل ما ليست جديرة بالثقة بسبب سجلها السيء في الإعتمادية على خدمتها، فإنها سوف لن تكون قادرة على الاستمرار والمنافسة، لأن عديداً من أصحاب البضائع والسلع يولون الاعتمادية الأهمية القصوى عند القيام باختيار شركة لنقل سلعهم.

السائق Vehicle Operator. يجب أن يبدأ النقل بالسائق - الطيار، أو سائق الحافلة أو الشاحنة أو السيارة أو القطار. ويقوم السائق باتخاذ قرارات تتعلق بالسرعة والمسافة بين المركبات واختيار الطريق والتقيد بقوانين المرور وأنظمته التي تخضع جميعها لإرادة السائق. ويختلف السائقون كثيراً من حيث تدريبهم ومهاراتهم وانتباههم وخبراتهم. ويخضع قائدو القطارات والطائرات والحافلات والبواخر المحترفون لتدريب مستفيض في المدارس أو على أجهزة المحاكاة أو من خلال دورات تدريبية مكثفة. أما سائقو المركبات الخاصة والسيارات فيتلقون تدريباً أقل بكثير، ولكن يجب حصولهم على رخصة للقيادة. ويجب أن تتوافر في طالب الترخيص لقيادة طائرة خاصة شروط محددة، في حين تشترط معظم الدول من المتقدم للحصول على رخصة قيادة سيارة خاصة اجتياز اختبار تحريري وآخر عملي؛ أما المركبات المائية الترفيهية الصغيرة فلا تتطلب مثل تلك الشروط.

وبغض النظر عن المهارة أو الخبرة أو التدريب الكافي، فإن السائقين ليسوا إلا بشراً يخضعون لجوانب الضعف وحدود القدرة البشرية. وأفضل درجات التدريب والخبرة لا تجدي عندما يكون السائق معتل الصحة، أو تحت تأثير الأدوية المخدرة أو الخمر، أو متعبًا، أو غير مستقر نفسياً، أو منعدم الإحساس بالمسؤولية. وحتى في أفضل حالاته، فإن السائق محدود القدرات. ويعرف زمن ردة الفعل بأنه الوقت الذي يمضي بين التنبه للحاجة إلى القيام بتصرف معين (مثل تقليل السرعة، أو استعمال المكابح، أو الانحراف بالمركبة . . . إلخ) حتى البدء في القيام بذلك التصرف. وهذا يشمل إدراك الحاجة للقيام بتصرف ما، ثم تحديد ماهية التصرف المناسب، ثم اتخاذ القرار للقيام به، ثم تنشيط الأعصاب والعضلات لتنفيذ القرار. ويمكن أن يتراوح زمن ردة الفعل بين نصف ثانية و ٣ ثوان تقريباً في الحالات العادية التي يكون السائق فيها منتبها، أما إذا كان السائق متعبًا، أو تحت تأثير المخدرات أو الكحول، أو غير مستقر نفسياً، فسيزيد زمن ردة الفعل على ذلك.

وقد يستجيب السائقون ذوو الخبرة بسرعة أكثر بسبب تمرسهم في معرفة الإجراءات اللازم اتخاذها عند موقف معين. (كما قد يتسمون بعدم المبالاة، أيضاً). وهنا يدخل عامل التقدير الشخصي إذ يمكن أن تكون ردة فعل السائق سريعة، ولكنه قد يتخذ قراراً خاطئًا، ويقوم بتصرف خاطىء، مثل أن يقوم بوضع قدمه على دوّاسة الوقود بدلاً من المكبح.

ويمكن مساعدة السائق عن طريق التصميم المناسب للبيئة التشغيلية المحيطة به، على أن يلقى على عاتقه مسؤولية اتخاذ قرار واحد، فقط، في الوقت الواحد. ففي تصميم الطرق، يتم تحقيق ذلك باستخدام علامات مرورية واضحة، وسهلة الرؤية؛ ولا تحمل سوى المعلومات التي يحتاجها السائق، وتكون واضحة الدلالة، وموضوعة على مسافة أو زمن كاف من المواقع التي يجب على السائق الاحتياط لها. كما يجب استخدام علامات تحذيرية مسبقة على مسافة كافية منّ العلامات التحذيرية النهائية. ويساعد تحديد المسارات على توجيه المركبات إلى المسارات المناسبة في حركات الالتفاف، أو للبقاء في الحارة الصحيحة من أجل الافتراق وترك الطريق لاحقاً. ويجري تذكير سائق القاطرة صوتياً بتغير الإشارات بوساطة مقصورة الإشارات أو نظام التحكم بالقطارات، كما أنه يتوافر في قمرة قيادة الطائرات التجارية أجهزة تحذيرية لتنبيه الطيار بوجود خطر اصطدام محتمل في المسار الذي يسلكه. ويساعد تقليل عدد أزرار التحكم والمؤشرات والمقاييس الموضوعة أمام السائق - كما في لوحة التحكم البسيطة في السيارات الخاصة، مثلاً - على تضييق مجال القرارات التي يتحتم على السائق اتخاذها، مما يسمح له بالتركيز على الجوانب الأكثر ضرورة في مهمة القيادة.

ويجب على السائق أن يتخذ قرارات أخرى خلال عملية القيادة، فعليه أن يحدد سرعة مركبته، وأن يقرر ما إذا كان من المناسب تجاوز مركبة أخرى أو تغيير مساره، أو كم يجب أن يقترب من مركبة أخرى أو من جسم ثابت. فهناك ميل طبيعي لدى السائقين بالابتعاد عن الأشياء القريبة منهم، مثل صف من المركبات الواقفة أو سور أو جدار النفق الجانبي وغيره. (ولذا تنشأ الحاجة لوجود أكتاف عريضة في الطرق). ويقوم السائق، بديهياً، بزيادة المسافة بين مركبته والمركبة التي أمامه كلما زادت سرعته - باستثناء الحالة التي تكون فيها عادة الالتصاق متأصلة بعدم الخوف أو بعدم الحذر، والتي تؤدي إلى سلسلة من الاصطدامات الارتدادية التي ليست نادرة الحدوث.

والسؤال المطروح أمام المهندس اليوم هو: ما مقدار حرية اتخاذ القرارات التي يجب أن يسمح للسائق بحيازتها. فهناك أنظمة مبرمجة معينة تحول وظيفة السائق إلى مراقب، وأخرى تمنح السائق القدرة على السيطرة عند الضرورة، فقط. فيما تمنح أنظمة أخرى السائق مسؤولية القيادة ولكنها تراقبه وتنذره إذا ما فشل في الاستجابة لوضع معين، أو إذا ما اتخذ القرار الخاطئ. أما في قيادة المركبات الخاصة فيظهر أنه ليس هناك ضوابط للسائق سوى الخوف من شرطي المرور أو خفر السواحل. وكلما زادت السرعة يقل الوقت المتاح للسائق للتصرف، لذا، فإن تبسيط القيادة أو ميكنتها ستبدو ميزة مرغوباً فيها في تصميم وسائل النقل فائقة السرعة وتشغيلها.

السلامة Safety. تُكَمِّل اعتمادية عملية النقل الفعالة وسلامتها كل منهما الأخرى. ويبين الجدول (٩-١) والبيانات المكملة له مقاييس وقوع الحوادث المميتة في النقل في الولايات المتحدة. وأظهرت الإحصائيات لعام ١٩٧٤م أنه قد قتل أو جرح ١٢٨٧٠٠ شخص من المشاة، وأن ٧٠٪ من الوفيات حدثت عندما كان الشخص يعبر الشارع أو يمشي داخله، و ٤٠٪ من هذه الوفيات حدثت بين التقاطعات. ولقد توفي من هؤلاء ٨٧٠٠ شخص، منهم ٦٤٪ داخل المدن. وكان نصيب الدراجات النارية من حوادث المرور ٣٦٠٠٠٠ حادث أدت لوفاة ٣١٦٠ من راكبي

الدراجات أو ١٤ وفاة لكل ١٠٠ مليون ميل من المسافات التي قطعتها الدراجات النارية . أما حوادث الدراجات العادية، فقد توفي بسببها ١٠٠٠ شخص في عام ١٩٧٤م، ٦٠ ٪ من هذه الحوادث كانت في المدن . وهذه البيانات مأخوذة من المرجع نفسه المذكور في ذيل الجدول (١ , ٩) .

الجدول (١ , ٩ أ): مقارنة لإحصائيات السلامة في وسائل النقل المختلفة[أ] (معدل وفيات الركاب لكل ١٠٠ مليون راكب–ميل).

وسيلة النقل	١٩٧٢م		١٩٧٣م		١٩٧٤م	
	الوفيات	المعدل	الوفيات	المعدل	الوفيات	المعدل
السيارات الخاصة والأجرة	٣٥٢٠٠	١,٩	٢٥٧٠٠	١,٨	٢٦٨٠٠	١,٣٠
الحافلات	١٣٠	٠,١٩	١٧٠	٠,٢٤	١٥٠	٠,٢١
قطارات الركاب	٤٨	٠,٥٣	٦	٠,٠٧	٧	٠,٠٧
الطائرات[ب]						
الرحلات الداخلية	١٩٠	٠,١٣	١٢٨	٠,١٠	١٥٨	٠,١٢
الرحلات الدولية	صفر	صفر	٦٩	٠,١٨	٢٦٢	٠,٨٠
الطيران الخاص	١٤٢٦	٢١٠٠	١٤١١	١٩,٠٠	١٢٩٠	١٧,٠٠

(أ) *Accident Facts,* National Safety Council, 1975 edition, Chicago, Illinois, p. 75.

(ب) المرجع نفسه، ص٧٦.

الجدول (١ , ٩ب): مصادر حوادث الطرق(أ).

نوع المركبة	الحوادث المميتة		المتورطون في حوادث مميتة		جميع أنواع الحوادث (بالمليون)	
	الوفيات	النسبة المئوية	العدد	النسبة المئوية	العدد	النسبة المئوية
السيارات الخاصة	–	–	٤١٧٠٠	٧٠,٤	٢٠,٦	٨٢,٠
الشاحنات بجميع أنواعها	–	–	١١٥٠٠	١٩,٩	٣,٤	١٣,٥
ركاب السيارات على الطرق السريعة	٣١٠	٧٠,٠	–	–	–	–
حافلات بين المدن	١٢	٠,٦	–	–	–	–
شاحنات مزدوجة (جرار ومقطورة)	–	–	٣٣٠٠	٥,٧	٠,٤٤	١,٧

(أ) *Accident Facts,* National Safety Council, 1975 edition, Chicago, Illinois, pp. 55, 56, 61.

نظم الإرشاد Guidance Systems. يترتب على المقدرة على الالتزام بالمسار أوالطريق المحدد فوائد واضحة من حيث السلامة المرتبطة مباشرة بنظام الإرشاد . فالاعتماد على الإرشاد الذاتي الأكيد للطرق التي تسير عليها المركبات، أو بوساطة القضيب الإرشادي الجانبي أو المحوري أو بوساطة العجلات المشفهة التي تسير على قضبان

حديدية، أفضل من حيث السلامة من الاعتماد، فقط، على خبرة السائق أو الطيار ومدى انتباهه لعملية القيادة. انظر الفصل الرابع حيث سبق أن شرحنا الأنواع المختلفة لنظم الإرشاد ووسائل النقل الخاصة بها.

الحساسية للأحوال الجوية Susceptibility to Weather. إن نظام النقل المثالي هو الذي يمكن الاعتماد عليه تحت ظروف الطقس كافة. ويمكن تحقيق ذلك فقط بوضع الطريق تحت الأرض أو تغطيته من جميع الجوانب تماماً. وتخلو (عادة) خطوط الأنابيب الموضوعة تحت الأرض من تأثيرات الطقس ما عدا إمكانية تسخين السائل داخلها في الطقس البارد لتسهيل قدرته على الجريان. وتزداد حدة المشكلة إذا كان خط الأنابيب موضوعًا فوق سطح الأرض، كما قد يكون عليه الحال في المناطق الجبلية. والسيور المتحركة حساسة للطقس إذا كانت مكشوفة، ولكن المشكلة تزول عند تغطيتها أو عند وجودها داخل المنشآت كما هو عليه الحال في عدد من الأرصفة المتحركة. أما السكك الحديدية فيمكن أن تكون أجزاء منها على سطح الأرض أو فوقه.

وتتأثر الطائرات بالأحوال الجوية. وتستطيع الطائرات التجارية الارتفاع عالياً فوق السحاب لتفادي أحوال الطقس الرديئة والمحافظة على جدول رحلاتها الزمني، ولكن، حتى هذه الطائرات، يجب أن تؤخر إقلاعها عندما تكون الأحوال الجوية رديئة جداً. أما عند الهبوط في مثل هذه الظروف، فعادة ما يتم الحد من معدلات الهبوط إلى النصف في حالة استخدام أنظمة الهبوط بالأجهزة، أما في حال عدم توافر تلك الأجهزة في المطار، فعندئذ، يمكن تجاوز هذا المطار إلى أقرب مطار مجهز بذلك. ولا يسمح بطيران الطائرات الصغيرة أبداً عندما تسود الرياح الشديدة أو الضباب. ويسبّب الطقس عدم ثبات الطائرة في مسارها، أو الهبوط في المطار الذي تقصده، حيث قد تلجأ الطائرة إلى تغيير مسارها والتوجه إلى مكان بعيد عن المطار المقرر لها الهبوط فيه قبل نفاذ وقودها، وذلك في حالة توجهها لمطار مزدحم جداً ومغطى بالضباب. كما أن الرياح الشديدة قد تغير أوقات الرحلات المجدولة وتجبر الطائرات على التوقف أثناء الرحلة في نقاط وسطية للتزود بالوقود.

وتقنية السكك الحديدية مصممة بحيث لا تتأثر كثيراً بالطقس. ويمكن أن تحدث تأخيرات للقطارات أثناء رحلاتها بسبب تجمد خطوط السكة والصعوبات في تدوير الهواء والبخار عبر خطوط القطار. وعادة ما يستعمل أسطول من جرافات الثلوج ومعدات تسخين خطوط السكة وتفريعاتها ومعدات إذابة الجليد لإبقاء السكة وتفريعاتها مفتوحة أمام القطار. ونادراً ما تحدث تأخيرات للقطار على السكة الرئيسة بسبب تراكم الثلوج على السكة. وعند تدني حالة الرؤية، فإن إشارات المقصورة وأجهزة التحكم الآلي للقطار تقلل المخاطر والتأخيرات. وطبعاً، لا توجد مشكلة من حيث الإرشاد للقطار إذ ان السكة تقوده إلى هدفه. ولكن يمكن أن تغطي الفيضانات الشديدة السكك والجسور أو تجرفها مسببة بذلك تأخيرات تتراوح بين ساعات قليلة و عدة أسابيع.

وبالرغم من أن الطرق، أيضاً، تعتمد على جرافات الثلوج واستعمال الملح أو الرمل ووسائل أخرى، إلا أن رداءة الطقس خصوصاً التجمد والجليد أو الضباب غالبًا ما تسبّب تخفيض سرعات الطرق، أو حتى توقف الحركة المرورية تماماً. وتتعرض السيارات الخاصة والشاحنات الخفيفة لأخطار محتملة عند سيرها في الأمطار والجليد والثلوج. وبسبب خفة وزنها، فإنها تفقد التصاق إطاراتها بسطح الطريق وتتعرض لأخطار الانزلاق. وحتى الشاحنات المزدوجة الضخمة، قد تنزلق وتفقد استقامتها على الطرق الزلقة، وكما هو الحال في السكك

الحديدية، تقوم إدارة الطرق بتجنيد فرق من العمال والمعدات لإزالة الثلوج أو الرمال من الطرقات خلال العواصف، ومع ذلك، فإنه كثيراً ما تغلق الطرق أو لا يُنصح باستخدامها في الظروف الجوية الرديئة جداً.

ويمكن أن يكون للطقس آثار ضارة جدا على جميع أنواع الملاحة البحرية. وحتى بوجود المساعدات الملاحية الحديثة باستخدام الرادار، فقد وقعت اصطدامات بين السفن في الضباب، كما خرجت بعض السفن عن مسارها المحدد وأصبحت مفقودة. ويمكن أن تتسبب الرياح الشديدة والعواصف في لجوء البواخر التي تبحر بالقرب من الشواطئ إلى الموانئ، كما يمكن أن تموج البحار العميقة وتتسبب في حدوث تسربات داخل السفن أو تعمل على انزلاق الحمولة داخل السفينة مما يتسبب في عدم استقرار السفينة. وتعمل الثلوج والفيضانات على إغلاق الأنهار والقنوات المائية مابين عدة أيام و عدة أسابيع في السنة، فمثلاً، تغلق البحيرات العظمى في وجه الملاحة بسبب الثلوج والعواصف من بداية شهر ديسمبر حتى نهاية شهر مارس من كل عام.

أما العربات الهوائية المعلقة فهي موصولة بالسلك ولا يمكن فقدها أو حتى تأخير حركتها مادام السلك يعمل جيداً. ويعمل التأرجح بسبب الرياح الشديدة على وقف حركة العربات خلال فترة العاصفة. كما يمكن أن يتسبب التجمد الزائد، أيضاً، في وقف الحركة، حتى إنه يمكن أن يتسبب في انقطاع سلك التعليق عندما لا تؤخذ عوامل زيادة الوزن والشد للسلك المغطى بالثلج بالاعتبار عند تصميم السلك.

حرم الطريق الخاص Exclusive Right of Way. تتوافر درجة كبيرة جداً من السلامة عندما يكون تحرك وسيلة النقل في مسار خاص بها، وتكون جميع الحركات على هذا المسار تحت تحكمها المباشر. ويقع ضمن هذا الصنف من وسائل النقل كل من السيور المتحركة وخطوط الأنابيب ومعظم أنظمة النقل العام السريع. ويفقد النقل العام السريع معظم هذه الميزات إذا كانت خطوطه بارزة على سطح الأرض، واختلطت حركة قطاراته مع حركة المركبات الأخرى على الشوارع العامة. وعادة ما يكون تشغيل السكك الحديدية والقطارات واستخدامها على خطوط خاصة خاضعا لتحكم المؤسسة المسؤولة عن تشغيلها، باستثناء تقاطع السكك الحديدية مع الطرق العامة على المستوى نفسه، والتي تشهد معدلات عالية من الحوادث.

وطرق النقل الجوية والبحرية والبرية ليست خاصة بناقلين محددين، بل يشترك الناقلون التجاريون في استعمالها بالإضافة إلى المركبات الخاصة. ويعدُّ الإرشاد البشري ضرورياً في المركبات التي تسير على الطريق. ويشهد كل عام حصيلة مرتفعة من الحوادث المرورية التي يذهب ضحيتها عدد كبير من القتلى والجرحى والتلفيات المادية. وتتحمل المركبات الخاصة مسؤولية القسم الأكبر من هذه الحوادث. فالتداخل المروري ومقابلة عدد كبير من المركبات الأخرى وتجاوزها على الطريق نفسه تُحمِّل السائق المسؤولية الكاملة لتحقيق السلامة. ويمكن أن يؤدي ضعف المهارة وعدم الانتباه والتهور، حتى بمقدار تافه، إلى حوادث رئيسة مفجعة. فمهما بلغت مهارة وخبرة سائقي الشاحنات أو الحافلات المدربين جيداً، فمن الممكن أن يصبحوا طرفاً في حادث مروري بسبب لامبالاة سائق غير مدرب وغير مسؤول في سيارة خاصة. وبالرغم من أن معظم الطرق الحديثة تكون مفصولة الاتجاهين بجزيرة وسطية أو حاجز، مما يعزل السيارات في الاتجاهين المتعاكسين، إلا أن عملية التجاوز في الإتجاه نفسه لا تزال تشكل خطورة كبيرة.

وتعتمد السفن وزوارق القطر مع مقطوراتها على الإرشاد البشري. وأحياناً تحدث اصطدامات بين المراكب، أو مع العوائق الثابتة مثل أعمدة الجسور. ويزيد من أخطار التصادم تداخل حركة المراكب الخاصة الترفيهية مع حركة المراكب التجارية.

وعند الحديث عن الموانئ والممرات المائية المكتظة في الولايات المتحدة، فإن مجلس سلامة النقل الوطني قد أشار إلى أن عدد السفن التي يزيد وزنها على ١٠٠ طن قد زاد زيادة كبيرة، مع زيادات حادة في أحجامها، وتغيرات في سرعاتها وخواصها التصميمية، وزيادة كثافة الحركة المرورية ومحدودية القدرة على المناورة، مما يقلل من هامش السلامة الفعّال للمراكب المتقابلة في الممرات المائية المحصورة.[١]

كما أن ازدحام المجال الجوي، مع ارتفاع سرعات الطائرات، قد زاد من أخطار التصادم لدرجة تنذر بالخطر. وقد ازدادت مؤخراً حوادث ارتطام الطائرات وحوادث الاصطدام الوشيكة خصوصاً بين الطائرات الخاصة والطائرات التجارية. ولم تنجح محاولات منع تحليق الطائرات الخاصة حول المطارات التجارية في القضاء على تلك الحوادث تماماً.

الارتجاج والصدمات Shock and Impact. يمكن أن تسبّب الصدمات والارتجاجات أثناء الرحلة أو في المحطات إلحاق أضرار بالمعدات والمنقولات.

وأنظمة النقل التي على شكل وحدات مجمّعة، خصوصاً قطارات السكك الحديدية الطويلة، حساسة للتمطط والتصادم المتكرر بين وحداتها نتيجة ذلك. وهناك محاولات لتقليل الارتجاج والصدمات تتمثل في القيام بحملة لتدريب العاملين في القطارات ومحطاتها، وتحسين طرق تجميع القطارات وتشغيلها وتحسين طرق التخزين (بما في ذلك استعمال حواجز متحركة لحصر الحمولة في العربات المحملة جزئياً) واستخدام أنظمة تعليق أفضل واستخدام وسائد تحت هياكل العربات والتحكم الدقيق بسرعة العربات في ساحات الفرز. والدراسات جارية على قدم وساق لمعرفة العوامل التي تحكم العلاقة الديناميكية بين خطوط السكة الحديدية والقطارات والتي ستساعد على تخفيف الارتجاج والصدمات الضارة.

ولا يعد الضرر الناتج عن الارتجاج أو المناولة برعونة عاملاً في مناولة السلع السائبة، وقد سبق أن ناقشنا في الفصل الرابع أخطار عدم الاستقرار في السفن والطائرات التي تنشأ بسبب سوء عمليات تخزين السلع والبضائع وتفريغها.

أما الأضرار الناجمة عن الارتجاج والصدمات في المركبات على الطرق فهي أقل منها في القطارات، مما يعني قيوداً أقل من حيث رص الحمولات وصفها. ويسمح استخدام المقطورات أو الحاويات لتجميع شحنات البضائع الصغيرة بزيادة تماسك الشحنة والتخفيف من الأضرار التي تلحق، عادة، بالبضائع أثناء إعادة مناولتها أو إعادة شحنها المتكرر من محطة لأخرى.

---

(١) *"Collisions Within the Navigable Waters of the United States - Consideration of Alternative Protective Measures"*, National Transportation Safety Board, 1972.

الحركة الأماميـة Forward Motion . هناك خاصية أساسية للطائرات تعمل ضد سلامتها واعتماديتها، وهي أن الطائرات يجب أن تبقى في حركة دائمة وأن تبقى محركاتها دائرة للمحافظة على ارتفاعها وتجنب كارثة الارتطام بالأرض . ولكنّ هناك هامشًا للسلامة في الطائرات يتمثل في أن الطائرة المتعددة المحركات تستطيع ، عادة ، الهبوط بسلام مع توقف دوران واحد أو أكثر من محركاتها . وتفيد إحصائيات حوادث الطائرات أن عدداً قليلاً منها نسبياً يحدث بسبب فشل المحركات مما يدل على متانة تصميم المحركات وحسن صيانتها . كما أن السفن، وزوارق القطر مع مقطوراتها تتعرض لصعوبات في التيارات المائية الشديدة أو في البحار العميقة عندما تتوقف عن الحركة إلى الأمام، لذا فلابد من ترك فجوة فاصلة مناسبة بين المراكب .

النقل العام الحضري Urban Transit. ربما تكون أنظمة النقل العام الحضري بالقطارات أو الحافلات أفضل وسيلة نقل من حيث السلامة . وتتعرض قطارات النقل العام السريع إلى عديد من المخاطر السائدة في عمليات القطارات بين المدن . كما تتمتع بمزايا السلامة التي يوفرها وجود طريق خاص بها مع تحكم كامل بالحركة عليه، ووجود الإرشاد الدائم لحركة القطارات عن طريق العجلات المشفهة التي تسير على القضبان، وإمكانية الاعتماد عليها تحت الظروف الجوية كافة . وتتميز أنظمة السكك الحديدية الحديثة عموماً بتوافر وسائل الحماية المتمثلة بإشارات آلية على السكة وفي مقصورة السائق، والتحكم المستمر بحركة القطار، والإيقاف الآلي لحركة القطار، والتحكم بالقطار بدون سائق، ومزايا سلامة أخرى . وهذه التجهيزات ليست موجودة في كل أنظمة القطارات، وعندما تكون مجهزة بها فيمكن أيضاً أن تكون مزودة بخاصية تتيح للسائق إمكانية التحكم المباشر والنهائي بحركة القطار وإلغاء التحكم الآلي عند الحاجة . وقد أدت أخطاء السائقين إلى وقوع حوادث تصادم وخروج القطارات عن سككها بسبب السرعة الزائدة .

وقد يسقط بعض الركاب من القطار عند الممرات التي تربط العربات مع بعضها والتي تكون غير مغطاة . كما تحصل بعض الحوادث عند فتح الأبواب وإغلاقها . وقد يسبّب فتح الأبواب أثناء حركة القطار التشغيل الآلي للكوابح . أما في أرصفة المحطات فلا يمكن للقطار أن يبدأ بالتحرك ما لم تكن جميع الأبواب مغلقة (بالرغم من أنه يمكن للسائق هنا، أيضاً، إلغاء هذه الميزة أحياناً)، كما أن الأبواب لا تنغلق إذا كان جزء من جسم الراكب يقع في منطقة مجرى الباب . ومع ذلك ، فقد حصل، أحياناً، أن أطبقت الأبواب على الركاب وجرى سحبهم أثناء حركة القطار . كما قد أدت المسافة الصغيرة بين القطار ورصيف المحطة (من ٠,٥ إلى ٣,٥ بوصة، أي ١,٢١ إلى ٧,٨٩ سم) أيضاً، إلى وقوع حوادث بسبب انحباس أقدام الركاب أو عصيهم أو عكازاتهم داخلها .

وتصبح منطقة رصيف المحطة منطقة خطرة عند تدافع الناس وتزاحمهم في سبيل ركوب القطارات أو النزول منها، وعند صعود السلالم والنزول منها في المحطات . وقد حدث أن وقع بعض الأشخاص أو دفعوا بسبب الإزدحام خارج الرصيف تحت عجلات القطارات . كما أن حوادث الانتحار المتكررة بالقفز تحت عجلات القطارات أصبحت مشكلة تحتاج إلى حل (في الولايات المتحدة) . وأحد الحلول المقترحة يتمثل في وضع ستائر أو حواجز على رصيف المحطة بأبواب محددة تشبه أبواب مصاعد المباني . ولكن ذلك يتطلب معدات إضافية باهظة الثمن، خصوصاً لتحقيق دقة أكبر في إيقاف القطارات التي يُتحكم بها آلياً . كما أن وضع سياج حديدي عند نهاية مواقع العربات

يمكن أن يساعد قليلاً ولكن لو أُبعد ذلك السياج إلى الخلف مسافة تزيد على ١٠ أو ١٢ بوصة فإن ذلك يمكن أن يزيد الخطر عند تزاحم الناس بعد تجاوز السياج من أجل الإسراع في الركوب. وقد تطلبت زيادة الجرائم والسرقات في المحطات تكثيف جهود الشرطة لحماية الركاب، وتركيب دوائر تلفزيونية مغلقة لمراقبة جميع أجزاء المحطة. ويراعى عند تصميم المحطات تلافي وجود الزوايا المظلمة حيث يمكن أن يختبىء المجرمون أو يقوموا بأعمالهم الإجرامية. وتشمل الأخطار التي لا تتعلق بالقطار فقد التهوية بسبب فشل معدات التهوية، أو حدوث حرائق في الأنفاق.

وتبرز الحوادث في النقل العام بالحافلات من عمليات تحميل الركاب وتنزيلهم، أو من انحباسهم في أبواب الحافلات، أو من الوقوع منها في حال اصطدامها، أو من قيامها بالحركة أو التوقف الفجائي. وبسبب زيادة حوادث الاعتداء على سائقي الحافلات وسرقتهم في بعض المدن الأمريكية، فقد لجأت السلطات هناك إلى استعمال صناديق مقفلة لجمع الأجرة ومنع السائق من حمل النقود. ويترتب على ذلك الإصرار على أن يدفع الراكب الأجرة النقدية الكاملة للإركاب دون الحاجة لقيام السائق بصرف الأوراق المالية الأكثر قيمة.

وهناك عديد من العوامل التي تعمل مشتركة على إعطاء النقل العام السريع بالقطارات درجة عالية من الموثوقية عندما يتم تشغيلها جيداً. وتشمل الموثوقية وجود طريق خاص بها، وكونها تسير داخل الأنفاق التي تحميها من عوامل الطقس (حتى لو كانت تسير على منشآت مرتفعة فوق سطح الأرض فهي أقل تأثراً بالسكك التي على سطح الأرض)، ومجهزة بنظام معقد من الإشارات يساعد في عمليات التشغيل عالية الكثافة المرورية - وباختصار، تقنية متطورة جداً.

أما النقل العام بالحافلات فهو أقل اعتمادية، لأن الحافلات التي تعمل في شوارع المدن تتعرض لجميع أنواع التأخر السائدة في حركة المرور في الشوارع بسبب الثلوج والأمطار والإشارات المرورية الضوئية والازدحام المروري. ورغم ذلك كله، تشير الخبرة إلى تمتع النقل العام بالحافلات بسجل جيد من الاعتمادية. وقد يزيد من ذلك تخصيص حارات خاصة بحركة الحافلات وتركيب إشارات ضوئية يمكن تحفيزها عند اقتراب الحافلات لإعطائها الضوء الأخضر.

المشاة وراكبو الدراجات الهوائية Pedestrians and Cyclists. تدل الإحصائيات على أن معظم حوادث المشاة تقع عند عبور التقاطعات، مع نسبة لا بأس بها تقع بين التقاطعات. وتشمل الإجراءات التصحيحية استعمال العلامات، مثل علامة «انتبه لعبور طلاب المدارس»، لتنبيه السائقين والمشاة على حد سواء. ويساعد تخصيص مرحلة من الإشارة المرورية الضوئية لعبور المشاة على حمايتهم، خصوصاً عندما تمنع حركات المركبات جميعها بما في ذلك الالتفاف إلى اليمين، ولكن ذلك يعمل على تأخير تدفق المركبات. وهناك حاجة لإنشاء معابر علوية أو سفلية للمشاة لعبور الشوارع المزدحمة جداً والطرق السريعة. وقد تستعمل، أحياناً، محطات قطارات الأنفاق لهذا الغرض.

وهناك بديل أفضل، وذلك عن طريق الفصل الكامل بين حركة المركبات وحركة المشاة باستخدام ممرات للمشاة تمتد عبر منطقة وسط المدينة وبين مراكز الأحياء المختلفة. ويمكن إغلاق بعض الشوارع في وجه حركة المركبات وجعلها خاصة بالمشاة، أو إنشاء ممرات ومسارات لهذا الغرض، ويفضل تزويدها بالاستراحات والكراسي والتسهيلات الأخرى.

وليس من سلامة المرور اختلاط الدراجات العادية (الهوائية) مع حركة المركبات. ويمكن إنشاء ممرات خاصة بالدراجات العادية شبيهة بممرات المشاة بعيداً عن شبكة الشوارع. وهناك بديل آخر يتمثل في إغلاق بعض الشوارع في وجه المركبات مع السماح للدراجات العادية باستخدامها، ولكن هذا المقترح يواجه عادة بمعارضة أصحاب العقارات التي تقع على طول هذه الشوارع التي يراد إغلاقها. وهناك بديل أضعف يتمثل في وضع علامات تشير إلى تخصيص بعض الشوارع القليلة الحركة المرورية، والتي تشكل مساراً نحو هدف معين، على أنها ممر للدراجات العادية.

الدور الحكومي
THE FEDERAL ROLE

يركز الحديث هنا على الدور الذي تقوم به الحكومة الاتحادية الأمريكية في مجال السلامة والاعتمادية، وذلك، على سبيل المثال، لما يمكن أن يكون عليه الحال في أي بلد آخر. وتقوم الحكومة الاتحادية الأمريكية بدور متزايد في تحقيق السلامة، وذلك من خلال عديد من الأنشطة المختلفة.

لقد أدرك مجلس سلامة النقل الوطني الأمريكي وجود اختلافات في السلامة بين وسائل النقل وضرورة ربط ذلك بالسياسات العامة بالقول إنه عندما «. . . يتوافر خيار بين وسائل النقل فإن على الحكومة تشجيع حركة البضائع عبر أسلم وسائل النقل». [٢] كما استشهد المجلس بإحصائيات وزارة النقل التنفيذية قائلاً: «. . . إن تحويل كمية كبيرة من المنقولات من الشاحنات الآلية التي تسير على الطرق إلى السكك الحديدية، سيكون له مردود صاف للمجتمع يعادل توفير ٥٥٠ وفاة و ٧٣٣٠ إصابة في العام تقريباً».

١ - **قوانين تحديد ساعات العمل.** لإدراك العلاقة الواضحة بين درجة انتباه السائق والسلامة، صدرت قوانين تحدد عدد الساعات التي يمكن أن يستمر السائق بعمله فيها من دون أخذ قسط من الراحة. ففي النقل المائي، تمنع القوانين الملاحين المرخصين لقيادة زوارق القطر والمراكب بالعمل لمدة «. . . تزيد على ما مجموعه ١٢ ساعة في أي فترة ٢٤ ساعة متتابعة ما عدا في حالات الطوارئ». [٣]

أما العاملون في القطارات أو القاطرات أو في عمليات توجيه حركة القطارات فلا يمكنهم العمل المستمر لأكثر من ١٢ ساعة دون أخذ فترة راحة لمدة ٨ ساعات. وتمنع القوانين سائقي الشاحنات على الطرق الطويلة من القيادة لمدة تزيد على ١٠ ساعات دون أخذ قسط من الراحة لفترة ٨ ساعات. ويسمح لطياري الخطوط الجوية التجارية في الرحلات المحلية بفترة ٨ ساعات من الطيران لكل ٢٤ ساعة مع ضرورة وجود ١٦ ساعة، في الأقل، بين الرحلات. أما الطيارون الذين ينقطعون عن الطيران لفترة تزيد على ٩٠ يوماً متصلة فلا يسمح لهم بقيادة الطائرات إلا بعد اجتياز اختبار تأهيلي لقدراتهم على قيادة النوع المعين من الطائرات التي سيقودونها.

---

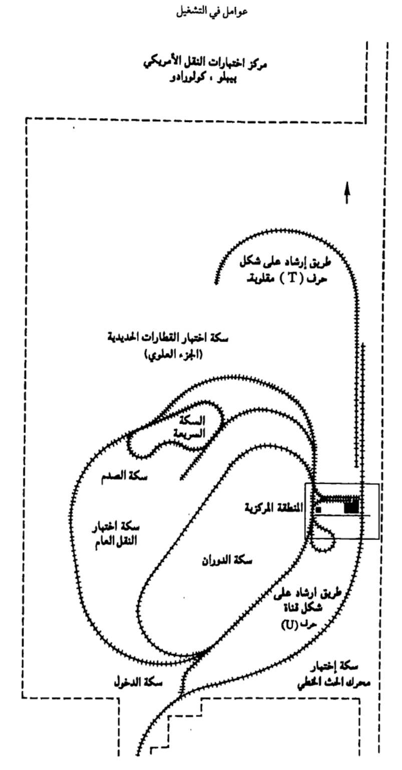
(٢) توصيات السلامة رقم ١-٧٢-١ التي تبناها مجلس سلامة النقل الوطني التابع لوزارة النقل الأمريكية، واشنطن العاصمة، مايو ١٩٧٢ م، ص٢.

(٣) القانون العام رقم ٩٢-٣٣٩، يوليو ١٩٧٢ م.

(٢) **التحقيـق فى الحـوادث.** تناط مسؤولية التحقيق في حوادث ارتطام الطائرات والحوادث الرئيسة للقطارات والكوارث الملاحية في المياه بمجلس سلامة النقل الوطني لتحديد الأسباب والخروج بتوصيات لرفع مستوى السلامة في المستقبل. (وفي حوادث ارتطام الطائرات، يساعد وجود جهاز تسجيل الرحلة أو ما يُسمى بالصندوق الأسود على تسهيل عملية التحقيق، وتشترط قوانين الملاحة الجوية التجارية تركيب هذا الجهاز في جميع الطائرات التجارية). وتقوم عدة جهات حكومية تشمل كلاً من خفر السواحل وإدارة الطيران الاتحادية ومكتب سلامة السكك الحديدية بالتحقيق الروتيني في الحوادث وإصدار تقارير حيالها. ولكن، لا يوجد تنظيم مشابه للتحقيق في حوادث الطرق، إذ تقوم إدارات المرور المحلية عادة بإجراء تحقيقات سطحية، فقط.

(٣) **التشريعـات التنظيميــة.** تقوم وزارة النقل، بحكم مسؤوليتها جزئياً عن التحقيق في الحوادث، بتبني القوانين التي تصدرها الجهات التشريعية (مجلس النواب) وتنفيذها بخصوص الترخيص لمركبات النقل المختلفة وفحصها ومتطلبات حالتها الفنية. وعلى سبيل المثال، تشمل تلك التشريعات تحديد إجراءات فحص الطائرات والمواصفات الاتحادية لسلامة السكك الحديدية (لعام ١٩٧٢ م) والمواصفات الاتحادية لسلامة المركبات الآلية (التي تحتوي على موضوعات تتعلق بمسافات الوقوف المطلوبة ومواصفات مكابح العجلات للمركبات المزودة بمكابح هوائية . . . إلخ، بالإضافة إلى قيود السرعات). ويحق لوزارة النقل، بعد إجراء الفحص وثبوت عدم سلامة الطائرات أو المراكب أو القاطرات أو السكك، أن تمنع استخدامها حتى يعالج الخلل. وقد نشأت مشكلة حديثة نسبياً تتعلق بالحوادث التي تسبّب أضراراً جسيمة أو خسائر بشرية ناجمة من حوادث نقل المواد الخطرة من المواد السريعة الاشتعال أو المتفجرات أو المواد السامة أو المشعّة. ويجري، حاليا، تطوير حلول واختبارها لإيجاد طرق للتعرف على تلك المواد، وكيفية التعامل معها عند وقوع حوادث اصطدام أو انقلاب للمركبات التي تنقلها، وكذلك تصميم حاويات آمنة لنقلها.

(٤) **البحث والتطوير.** تقوم وزارة النقل بدور نشط في مجال البحث والتطوير، وقد أدى إجراء عديد من الاختبارات والأبحاث إلى إصدار تقارير لتغيير طرق تصميم المعدات، وتغيير إجراءات تشغيلها وقواعدها، وحتى أوامر تنفيذية للقيام بذلك من أجل زيادة سلامة تلك المعدات والمركبات. ومنذ وقت طويل، والقوات المسلحة تجري أبحاثاً تطويرية للملاحة الجوية وسلامة الطائرات واعتماديتها. ويجري، حالياً، استخدام عديد من الأجهزة التي طُوّرت هناك في الأغراض التجارية مثل الرادار وأنظمة الهبوط بالأجهزة الإلكترونية التي تساهم في سلامة رحلات الطائرات التجارية. وهذه الميزة لا تتمتع بها وسائل النقل الأخرى. ويجري تخصيص ١٪ من المخصصات المالية لإنشاء الطرق الاتحادية لأغراض البحث والتطوير، بعضها، في الأقل، مرتبط بالسلامة، ويُقدّم الدعم المالي لمراكز الأبحاث والجامعات ومركز الاختبار الخاص بأنظمة النقل الأرضي عالي السرعة التابع لوزارة النقل، والذي يقع في ولاية كولورادو الأمريكية (انظر الشكل ١, ٩)، وذلك من المخصصات المالية التشريعية لتطوير أنظمة النقل العام.



الشكل (٩,١). مركز اختبار وسائط النقل الأرضي عالي السرعة.

(U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.)

عوامل أخرى تتعلق بالسلامة والاعتمادية
OTHER SAFETY-DEPENDABILITY FACTORS

التقاطعات السطحية Grade Crossings. إن وجود تقاطعات سطحية بين الطرق والسكك الحديدية أمر يستدعي الحذر، إذ تدل الإحصائيات الأمريكية على أن الوفيات بسبب الحوادث التي تقع عند تلك التقاطعات تراوحت بين ١٥٤٨ (٨٢ مشاة) في عام ١٩٦٩م، و١٢٣٣ وفاة (٧٨ مشاة) في عام ١٩٧٣ م. وقد حدث أيضاً ٣٢٥٩ حادثاً غير مميت شمل ٣٧ منها مشاة.[٤] ومنذ زمن طويل، لجأت الولايات المتحدة إلى تركيب أجهزة حماية عند التقاطعات السطحية مع المشاركة في توفير جزء كبير من تكاليف التركيب (عادة، تساهم السكك الحديدية بـ ١٠٪ إلى ٢٠٪ من التكلفة والباقي تتحمله الحكومة)، مع تحمل السكك الحديدية، عادة، لنفقات الصيانة. وفي عام ١٩٦٧ م، أصدرت وزارة النقل الاتحادية برنامجاً خاصاً يهدف إلى تقليل الحوادث التي تقع عند التقاطعات السطحية للطرق مع السكك الحديدية.[٥] وأعدت إرشادات عامة للقيام بذلك تشمل عدة جوانب منها كيفية حصر تلك التقاطعات وطرق حساب مؤشر الخطر عند التقاطعات السطحية للطرق مع السكك الحديدية.

مؤشر الخطر Hazard Index. تشتمل أخطار التقاطعات السطحية للطرق مع السكك الحديدية على عدة عوامل هي الأحجام المرورية للتقاطعات والمركبات وسرعاتها وحركة المشاة وعدد خطوط السكك الحديدية وعدد حارات الطرق عند التقاطع ومسافة الرؤية وحالة الطريق ومحاذاة الطريق والسكة الحديدية ونوع الحماية المستخدم والأحوال الجوية السائدة، عادة، ودرجة ميل الطريق وعوامل أخرى خاصة بالتقاطع. ويعتمد مؤشر الخطر على احتمال وجود تعارض في الحركة على الطريق والحركة على السكة وعلى مسافة الرؤية وعلى درجة فعالية أجهزة الحماية الموجودة عند التقاطع. وقد أثبتت التجارب والبحوث المختلفة أن استخدام الإشارات الضوئية المتقطعة المعروفة وسيلة للحماية يكون فعّالاً عند التقاطعات السطحية للسكة المفردة، وأن استعمال البوابات (الحواجز) الآلية بالإضافة إلى الإضاءة المتقطعة تكون فعالة عند التقاطعات السطحية للخطوط الحديدية المتعددة السكك، وهذه أكثر فعالية من أجهزة الحماية الأخرى للتقاطعات السطحية.

والمعادلة التالية التي تستخدمها ولاية وسكانسون الأمريكية تعد نموذجاً لمعادلات حساب مؤشر الخطر.[٦]

$$H.I. = T\left(\frac{V/20 + P'/50}{5}\right) + D + A_e$$

حيث إن:

$H.I.$ = مؤشر الخطر

T = عدد القطارات العابرة خلال ٢٤ ساعة

---

(٤) *Accident Facts*, National Safety Council, 1975, p. 77.

(٥) U.S. Department of Transportation News Release, 8 August 1967.

(٦) Highway-Railroad Grade Crossing Data, Wisconson Public Service Commission, Madision, Wisconson, May 1965.

V = حجم حركة المرور على الطرق خلال ٢٤ ساعة، وتعد خطورة القطار الواحد مكافئة لخطورة ٢٠ مركبة، أو خطورة ٥٠ شخصاً من المشاة.

P' = عدد المشاة العابرين خلال ٢٤ ساعة

D = عامل تصنيف مسافة الرؤية

A_e = وقوعات الحوادث = متوسط عدد الحوادث في العام × ١٠٠

وعندما يكون عدد المشاة العابرين ضئيلاً جداً لدرجة إهماله، نستطيع اختصار المعادلة السابقة إلى :

$$H.I. = \frac{T \times V}{100} + D + A_e$$

وتحسب قيمة عامل تصنيف مسافة الرؤية (D) لكل زاوية من زوايا التقاطع على أساس رؤية القطار قبل مروره بسبع ثوان. وباستخدام الجدول التالي، يمكن إيجاد قيمة العامل لكل زاوية من زوايا التقاطع، ثم تضرب هذه القيمة بالعامل الوزني المناسب، ثم تجمع النواتج لجميع العوامل الأربعة للحصول على (D) .

تقاطعات داخل المدن			تقاطعات في المناطق الخلوية		
المسافة إلى التقاطع (أقدام)	العامل	السرعة الآمنة[أ] (ميل/ساعة)	المسافة إلى التقاطع (أقدام)	العامل	السرعة الآمنة[أ] (ميل/ساعة)
٢٥ ١٠٠	١٥	٢٥	١٠٠	١٥	
٢٥ ٥٠	٢٠	٣٥	٥٠	٢٠	
٦٥ ٢٢	٢٥	٦٥	٤٤	٢٥	
٩٠ ٠	٣٠	٩٠	٤٠	٣٠	
		١٥٠	٣٠	٣٥	
		٢٢٥	٢٠	٤٠	
		٣٠٠	١٠	٤٥	
		٣٦٠	٠	٥٠	

العامل الوزني : ٠,٧ لزاوية التقاطع الأخطر

٠,١ لكل من الزوايا الأخرى

(أ) سرعات مركبات الطرق التي تعطي مسافة وقوف آمنة.

مثال توضيحي

أوجدْ مؤشر الخطر ($H.I.$) لتقاطع خلوي يعبره ٢٠ قطاراً، و٥٠٠ مركبة طرق، و٢٥٠ من المشاة خلال فترة ٢٤ ساعة. ويبلغ معدل الحوادث للتقاطع حادث واحد كل ٥ سنوات، ومسافة رؤية القطار قبل مروره بسبع ثوان لكل من زوايا التقاطع هي :

الزاوية الأولى (Q_1) = ١٥٠ قدماً، الزاوية الثانية (Q_2) = ٢٢٥ قدماً
الزاوية الثالثة (Q_3) = ٣٠٠ قدم، الزاوية الرابعة (Q_4) = ٣٦٠ قدماً

الحـــل

عامل مسافة الرؤية "D" : Q_1 = ٠,٧ × ٣٠ = ٢١
Q_2 = ٠,١ × ٢٠ = ٢
Q_3 = ٠,١ × ١٠ = ١
Q_4 = ٠,١ × ٠ = ٠
العامل (D) = ٢٤

عامل الحوادث (A_r) = ١/٥ × ١٠٠ = ٢٠

موشر الخطر ($H.I.$) = ٢٠ × ((٥٠٠/٢٠ + ٢٥٠/٥٠) / ٥) + ٢٤ + ٢٠ = ١٦٤

عوائق الطرق Route Obstructions. تنشأ التأخيرات عندما تحدث عوائق في الطرق سواء كانت مقصودة (كما في حالة إجراء عمليات الصيانة)، أو بسبب وقوع حوادث، أو بسبب قوى الطبيعة. وتقليدياً، تسعى الجهات المسؤولة إلى إبقاء السكة الحديدية مفتوحة أمام حركة القطارات بغض النظر عن تكاليف القيام بذلك مادياً، خصوصاً على الخطوط الحديدية المكتظة. ويمكن التنسيق مع الخطوط الحديدية الأخرى لوضع ترتيبات خاصة لإنشاء نظام متكامل من التحويلات يساعد على استمرار حركة القطارات عندما تتعطل بعض السكك تماماً. ومن جهة أخرى، فإن حدوث فشل في خطوط الأنابيب أو السيور المتحركة أو العربات الهوائية المعلقة سلكياً، سيؤدي إلى إيقاف الحركة فيها تمامًا إلا إذا كان هناك منشآت أخرى مشابهة وموازية لها وهذا أمر مستبعد. ويساعد انتشار شبكات الطرق والشوارع على جعل حركة المرور مسألة بسيطة.

موثوقية الوصول Arrival Reliability. إن دقة الأداء مقياس للاعتمادية على نظام النقل المعين، وهذه الاعتمادية وليدة عدة عوامل تتكامل معها لتوجد الثقة بالنظام وتشمل التصميم المناسب للمرافق والتشغيل المنتظم للمركبات المصانة جيداً والتي تسير على طرق وسكك مصانة جيداً، أيضاً. ويجب أن تكون سعات المعدات والطرق كافية وكذلك العلامات والإشارات المرورية الضوئية، لتجنب الازدحام: فالمطار الذي سعته غير كافية يتسبب في حدوث تأخيرات للطائرات التي تضطر لانتظار دورها في الإقلاع أو الهبوط. كما أن الإهمال في صيانة السكك يتسبب في وضع قيود على سرعات القطارات مما يؤدي بدوره إلى تأخيرها. كما أن إعادة إنشاء بعض الطرق السريعة قد

يسبّب تأخير حركة المركبات على الطرق. كما تؤدي حالات فشل معدات السكك الحديدية دوراً في تأخير القطارات، حتى قطارات الركاب. وتعد الصيانة الجيدة مع ارتفاع معنويات القائمين على صيانة المعدات المدربين جيداً وتشغيلها من أهم عوامل المحافظة على انتظام الجداول الزمنية للخدمة.

ملخص ما سبق. يحتوي الجدول (٢ , ٩) على تقويم المؤلف لدرجة الاعتمادية لعديد من وسائل النقل. ويمكن حساب مؤشرات كمية الأداء لكل وسيلة نقل عن طريق إعطاء قيم كمية لكل مقياس نوعي والخروج بقيمة رقمية لاعتمادية كل وسيلة نقل. ويمكن للقارئ مراجعة هذا التقويم والإدلاء برأيه في ذلك.

الجدول (٩,٢): اعتمادية وسائل النقل المختلفة.

وسيلة النقل	من حيث الحركة	من حيث المحافظة على سلامة المنقولات	التقويم الإجمالي
السكك الحديدية	جيد إلى ممتاز[أ]	متوسط	جيد
الطرق - نقل البضائع	متوسط إلى جيد	جيد	جيد[ب]
الطرق - نقل الركاب	ضعيف إلى جيد[جـ]	ضعيف	ضعيف
الطرق المائية	متوسط	جيد	متوسط إلى جيد
الطرق الجوية	ضعيف	جيد	متوسط
خطوط الأنابيب	ممتاز	ممتاز	ممتاز
السيور المتحركة	ممتاز	ممتاز	ممتاز
العربات الهوائية المعلقة	جيد	ممتاز	جيد إلى ممتاز
النقل العام بالحافلات	متوسط	ممتاز	جيد
النقل العام بالسكك الحديدية	ممتاز	ممتاز	ممتاز

(أ) للحركة الفعلية على السكة، وكما ذكرنا سابقا في هذا الفصل، فإن النقل بالسكك الحديدية عرضة لمشكلات التأخير في المحطات.
(ب) لنقل البضائع بالشاحنات الآلية، أما بالنسبة للسيارات الخاصة، فهو من ضعيف إلى متوسط.
(جـ) ضعيف على شوارع المدن، وجيد على الطرق السريعة بين المدن.

وتشير معدلات الحوادث في الجدول (١ , ٩ أ) و(١ , ٩ ب) إلى الدرجة النسبية لسلامة وسائل النقل المختلفة. ومن المسلم به أن السلامة عامل مهم جداً يتطلب تدخل الأجهزة الحكومية في تنظيم حركة النقل لضمان السلامة، وذلك بسن القوانين التي تقيد ساعات الخدمة، والتحقيق في حوادث المرور والكوارث الجوية والبحرية، ووضع المواصفات التي تضمن سلامة معدات النقل ومرافقه، والقيام بفحصها للتأكد من الالتزام بالمواصفات، وإنشاء معاهد خاصة للأبحاث والتطوير بما في ذلك برامج تقليل الحوادث عند التقاطعات السطحية للطرق مع السكك الحديدية. وسنناقش جوانب أخرى للسلامة في الفصل الحادي عشر عند الحديث عن «التحكم في عمليات التشغيل».

المرونـــة
FLEXIBILITY

إن قدرة شركة نقل ما على الاستجابة أو التكيف مع الإحتياجات المتعددة أو الظروف المتغيرة يمكن أن يكون لها آثار مهمة تحدد مصير الشركة ومستقبلها. وتظهر مرونة نظام النقل بعدة أشكال كما هو مبين أدناه.

حجم الحركة Volume. تستطيع بعض وسائل النقل نقل أعداد كبيرة من الناس أو السلع بكفاءة عالية. وبعضها الآخر، وخاصة السيارات الخاصة والدراجات والطائرات الصغيرة، تعطي خدمة فردية فعّالة ولكنها لا تقدر على نقل أعداد كبيرة من الناس في وقت واحد. وتعد أنظمة النقل بالحافلات والقطارات مناسبة للنقل الجماعي، وأنظمة النقل العام بالقطارات فعالة في المناطق الكثيفة بالسكان، أو عند استخدام المرونة التي تتميز بها طرق الحافلات والسيارات لتركيز أعداد كبيرة من الركاب من مناطق متعددة في محطات القطارات.

وبالنسبة لحركة السلع والبضائع، فإن المحدودية النسبية لسعة الشاحنات المفردة أو المزدوجة (جرار ومقطورة) التي تسير على الطرق تعطيها مقدرة لنقل الشحنات الصغيرة أو السلع المغلفة، خصوصاً عند الحاجة لنقلها إلى مسافات قصيرة وفي وقت أسرع. وتستطيع الشاحنات المفردة نقل مابين ١٠ و ٢٠ طناً، وضعف هذه الحمولة إذا كانت الشاحنات مزدوجة، ولكن حجم الشاحنة وسعتها تخضعان للقوانين الحكومية وقدرة رصفيات الطرق والجسور على تحملها.

وعلى النقيض، فإن خطوط الأنابيب التي تمثل نظام نقل مستمر لا يكون أداؤها ذا كفاءة عالية إلا إذا كانت تنقل أحجاماً كبيرة جداً. وقد أدركت الجهات التنظيمية هذه الخاصية وسمحت لأصحاب خطوط الأنابيب باشتراط حد أدنى من كمية الشحن عند حساب أجورهم (أحياناً ١٠٠٠٠ برميل ولكنها تصل عادة إلى ١٠٠٠٠٠ برميل). أما الشحنات الأقل فيمكن قبولها على أن تحجز حركتها حتى تتجمع كمية كبيرة من الشحنات التي لها النوع نفسه والمواصفات نفسها، وذلك حتى يكون تشغيل خط الأنابيب ذا مردود اقتصادي.

أما النقل بسفن المواد السائبة والصنادل فيقتصر على نقل الأحجام الضخمة من المواد السائبة أوالبضائع المصنعة ولكن بكميات كبيرة كالأنابيب، مثلاً. ويمكن تغيير عدد الصنادل المقطورة لسد حاجة النقل، ولكن بطء حركة هذه الوسائل يحد من منفعتها في نقل السلع التجارية.

وللسكك الحديدية مرونة حجمية كبرى، وأهم فوائدها قدرتها على نقل كميات كبيرة من جميع أنواع السلع كالفحم والحبوب والسيارات والخشب والسوائل أو غيرها. وبما أن القطار الحديدي مؤلف من عدد من العربات فيمكن إضافة أي عدد من العربات أو إزالته حسب الطلب، كما يمكن تحميل العربة كلياً أو جزئياً. وقد ساعد تطوير المقطورات والحاويات التي تنقل على عربات القطار المسطحة في فتح المجال لنقل السلع الصغيرة الحجم والسلع التجارية بكميات كبيرة وبكفاءة.

نوع السلع Commodity. يختلف نقل الركاب عن نقل السلع من حيث الاحتياجات المختلفة التي تشمل حجم الحركة والسرعة والوقت والراحة. وبالتالي يمكن نقل الأشخاص باستخدام جميع وسائل النقل ما عدا خطوط

الأنابيب . كما أن استخدام السيور المتحركة محصور في السلالم والأرصفة المتحركة حالياً بالرغم من توقع ظهور تطبيقات أخرى لها مستقبلاً .

أما نقل السلع فهو مقصور على وسائل النقل التي توفر الحركة السريعة والحجم الكبير . وتنقل المواد الحبيبية السائبة بوساطة وسائل النقل ذوات القدرة على نقل الأحجام المرورية الكبيرة ، وتستخدم لذلك وسائل النقل المائي أو القطارات أو السيور المتحركة . وبالمثل ، فإن السوائل تنقل بسفن الصهاريج أو خطوط الأنابيب أو القطارات . ولكن الأنابيب مقصورة ، تقنياً ، على نقل السوائل أو المواد الصلبة التي جرى تحويلها إلى مواد معلقة أو شبه سائلة مثل الفحم وبعض الخامات الأخرى . أما المواد القابلة للتلف ، كالفواكه والخضراوات الطازجة والزهور واللحوم والأغذية المجمدة وعصائر الفواكه المركزة ، فتنقل ، عادة ، بالسكك الحديدية أو بالشاحنات داخل أوعية حافظة ، أو في عربات مبردة في القطارات السريعة ، أو في الشاحنات السريعة ، أو حتى على متن الطائرات للمسافات الطويلة . كما أن السلع التجارية التي تتطلب ، أيضاً ، النقل السريع يمكن نقلها على الطرق أو السكك الحديدية أو كليهما معًا أو عن طريق الجو .

مرونة الطريق Route Flexibility . تعد القدرة على الانتقال المباشر من نقطة المنشأ إلى نقطة المقصد خاصية مفيدة جداً ، فالمركبات التي تسير على الطرق يمكنها الحركة على أي طريق يتوافر فيه قدر معقول من قوة التحمل ونعومة السطح ، ولا تقتصر حركة المركبات على شبكة الطرق الضخمة (أكثر من ثلاثة ملايين ميل في أمريكا) للوصول إلى المدن والقرى ، فقط ، بل يمكن للشاحنات الحركة داخل المناطق الزراعية لتحميل منتجاتها أو داخل مناطق التشييد لتوصيل المواد الإنشائية . وتتميز الشاحنات بتوفير خدمة فعّالة من الباب إلى الباب للتوصيل والتحميل . كما تتمتع ، أيضا ، بمرونة طرقها حيث يمكن أن تكون الحركة في اتجاهين متعاكسين مع توفير القدرة على التجاوز . كما أنه نادراً ما توجد عوائق شديدة في الطريق ، وفي حال وجودها فإما أن تخفض سرعة المرور لتجاوز تلك العقبات أو تحويل حركة المرور إلى أجزاء أخرى من الشبكة دون تأخير يذكر .

وتوفر حركة المركبات على الطرق المرونة نفسها في نقل الركاب ، وهذا ما يفسر استعمالها الشائع . فمرونة الطريق توفر إمكانية تغيير مسارات خطوط الحافلات حسب تغير الطلب من دون تكلفة إضافية تذكر ، وكذلك إمكانية استخدام الحافلات في توفير خدمة تجميع الركاب من أماكنهم المختلفة وتوزيعهم إلى محطات خطوط النقل العام الرئيسة . والمرونة في استخدام السيارات مقيدة ، فقط ، في القدرة على إيجاد مواقف لها ، والسيارات طبعاً - خلافاً لخطوط الحافلات - توفر خدمة مرنة جداً من الباب إلى الباب .

وتقنية السكك الحديدية مصممة لتعطي أفضل أداء عند حركتها عبر الممرات الرئيسية للحركة ، بحيث يمكن للخدمة الفردية الوصول من تلك الممرات وإليها عبر تفريعات خاصة بها . وعلى سبيل المثال ، فإن شبكة السكك الحديدية في الولايات المتحدة تتكون ، حالياً ، من عديد من الشركات العاملة المستقلة ، وتعمل جميع هذه الشركات معاً كنظام واحد من أجل راحة عموم الشاحنين . ووجود اتساع قياسي للسكك (١,٤٣ متر ، أو ٤ أقدام و ٨,٥ بوصة) يجعل من الممكن عملياً تحريك أي عربة إلى أي مكان على الشبكة . ومواصفات العربات القياسية موحدة

من حيث الوصلات والمكابح ومزايا السلامة الأخرى، وأيضاً، من حيث مستويات أرضيات العربات. كما يوجد نظام للملكية الخاصة للعربات ولكن تبادل حركة العربات بين الشركات يخضع لقواعد التبادل من حيث الحالة الميكانيكية للعربات، ولقواعد خدمة العربات من أجل إعادة العربات إلى الشركة المالكة بعد تفريغ الشحنة، ولقواعد محاسبية مالية تحدد التعويضات المناسبة التي يلزم أن يقدمها مستخدم العربة إلى مالكها الأصلي. وتشرف على وضع هذه القواعد عدة اتحادات مهنية وأجهزة حكومية تشمل (في أمريكا) اتحاد شركات السكك الحديدية الأمريكية، ولجنة التجارة بين الولايات الأمريكية. أما معدات نقل الركاب على السكك الحديدية (في أمريكا) فهي مملوكة تقريباً بالكامل لمؤسسة السكك الحديدية الحكومية (آمتراك Amtrak)، باستثناء عدد قليل من خدمات الضواحي. وتتحرك قطارات الركاب الحكومية مجاناً على خطوط السكك الحديدية.

وفي السكك المفردة، فإن الإجراءات التشغيلية والإشارات ووجود تفريعات التجاوز الجانبية تتيح حركة القطارات في الاتجاهين، كما تتيح فرصة التجاوز والتلاقي. ويمكن إيقاف حركة القطارات أو إعاقتها عند وقوع حوادث أو وجود عوائق أخرى للسكة، ولكن يمكن إعداد ترتيبات لتحويل حركة القطارات (تعد مسبقاً) على سكك الشركة نفسها أو على سكك الشركات الأخرى.

ومرونة النقل بالطرق المائية مرهونة بوجود شبكة متصلة من الأعماق الصالحة للملاحة. وتتمتع معظم المراكز الحضرية والملاحية الضخمة بوجود ممرات مائية تصل فيما بينها، ولكن قد تكون عملية النقل المائي بين منطقتين نائيتين غير عملية نظراً للحاجة للدوران عبر خطوط مائية أخرى للتوصيل بينها. وتتوافر، عموماً، فرص الحركة في الاتجاهين وفرص التجاوز والتلاقي في هذه الممرات بين السفن المقطورة، ولكن من الصعب عمل تحويلات إذا كان هناك عوائق في الممر المائي (أو في الأهوسة). كما أنه عند إغلاق أحد الممرات بسبب الفيضانات، فإن الممرات الأخرى المجاورة في الغالب ستكون، أيضاً، مغطاة بالفيضانات.

أما نظم السيور المتحركة وخطوط الأنابيب فمرونة طرقها محدودة جداً. فالحركة في الإتجاهين مستحيلة إلا إذا كان هناك منشآت مشابهة موازية لها، كما أن تحويل الحركة يعد مستحيلاً عموماً.[٧] وبالتالي، فإن أي تعطل لجزء من النظام يوقف العملية بأكملها.

كما أن مرونة الطريق للعربات الهوائية المعلقة محدودة جداً أيضاً، ولكنها تتميز بالتكيف تكيفاً كبيراً مع التضاريس الطبيعية، إذ يمكنها التغلب بسهولة على الصعوبات التي تستعصي على أنظمة النقل البرية الأخرى، مثل صعوبات المناطق الجبلية والأراضي الصحراوية وعبور الوديان والأنهار العريضة.

ويبين الجدول (٣، ٩) تقويم المؤلف لما سبقت مناقشته وغيره من عوامل المرونة الأخرى المعتمدة، فقط، على التقنية الحالية لنظم النقل المختلفة. ومرة أخرى، يمكن وضع قيم رقمية لكل عنصر من عناصر تقويم المرونة.

---

(٧) عند اتخاذ قرار بإنشاء سكة حديدية بين منجم لخام الحديد ومدينة كويبك الكندية القريبة منه، كان هناك خيار آخر باستخدام السيور المتحركة بدلاً من ذلك. ولقد كان أحد العوامل التي ساعدت على اتخاذ القرار بإنشاء السكة الحديدية وإلغاء فكرة السيور المتحركة، هو عدم قدرة السيور المتحركة على توفير الحركة في الاتجاهين، أي لنقل العمال والمواد والتجهيزات إلى المنجم الذي يتم إستخراج خام الحديد منه وشحنه.

الجدول (٣, ٩): خواص المرونة.

الخـــــواص	السكك الحديدية	الطرق	الممرات المائية	الطرق الجوية	الأنابيب	السيور المتحركة	العربات المعلقة
التكيف مع تضاريس الأرض	جيد	جيد	ضعيف	جيد	جيد	متوسط	ممتاز
مدى توافر الطرق البديلة	جيد	ممتاز	متوسط	جيد	متوسط	ضعيف	ضعيف
حرية الحركة	جيد	ممتاز	جيد	ممتاز	ضعيف	ضعيف	ضعيف
التكيف مع حجم الحمولة ونوعها	ممتاز	ضعيف	جيد	ضعيف	ضعيف	ضعيف	ضعيف
سهولة التحويل من طريق لآخر	ممتاز	متوسط	متوسط	ضعيف	متوسط	ضعيف	ضعيف
سهولة الدخول إلى الخط (الخدمة) والخروج منه	ضعيف	ممتاز	جيد	متوسط	ضعيف	ضعيف	ضعيف
التكيف مع الأبعاد والأحجام المرورية المتفاوتة للمركبات	ممتاز	ضعيف	جيد	ضعيف	ضعيف	متوسط	ضعيف
التكيف مع الأنواع المتفاوتة للمركبات	ممتاز	جيد	ممتاز	ضعيف	ضعيف	متوسط	متوسط
القدرة على متابعة الحركة بالرغم من التوقفات المحلية على أجزاء من الطريق	ممتاز	ممتاز	ممتاز	ممتاز	ضعيف	ضعيف	ضعيف
المرونة العامة أو الإجمالية	جيد	جيد	متوسط	ضعيف	ضعيف	ضعيف	ضعيف

والخروج بقيمة إجمالية للمرونة قد لا يكون مهما نظراً لإمكانية تحكم أحد هذه العوامل باتخاذ القرار المعني. فمثلاً، قد ينبني قرار استخدام نظام العربات الهوائية المعلقة، فقط، على عامل قدرة العربات المعلقة على التغلب على التضاريس الوعرة، كما قد ينبني قرار استخدام خطوط الأنابيب، فقط، على الحاجة لنقل النفط بكميات ضخمة عبر المحيطات أو الصحارى.

السرعة
SPEED

إن سرعة الحركة عامل مهم في تحديد كل من مستوى الخدمة ونوعيتها، وقد بُحث تأثير السرعة على كل من مستوى سعة الطريق ومستوى الخدمة، وذلك في الفصل الثامن، أما الأوجه الأخرى للسرعة فستبحث أدناه.

أنواع السرعة Speed Types. للسرعة عدة تعريفات ومعان مختلفة، «فالسرعة القصوى» التي يتم تحقيقها في ميادين السباق ربما تكون ذات أهمية للمتسابقين، ولكنها ليست ذات أهمية خاصة في علوم النقل. وأحياناً، تكون هناك فائدة في معرفة «السرعة اللحظية Spot Speed» التي يتم الوصول إليها في وقت أو مكان معين. ولكن «السرعة العملية Running Speed» تُعدّ أكثر أهمية وهي السرعة التي يمكن الحفاظ عليها بإستمرار لمدة طويلة. والسرعة الأكثر أهمية هي «السرعة المتوسطة Average Speed» التي تأخذ في الاعتبار زمني التسارع والتباطؤ وتأثير فترات تخفيف السرعة خلال الرحلة. ولكن الأهمية الكبرى هي لـ«السرعة الإجمالية Overall Speed» التي تعكس زمن الرحلة من الباب إلى الباب، والتي تتضمن وقت التوقف في المحطة وصعود الركاب ونزولهم، وزمن التحويل من مركبة لأخرى، وغيرها من أسباب التأخير كالإشارات الضوئية وعلامات «قف» والاختناق المروري، مثلاً. ويبين الجدول (٤ ,٩) السرعات النمطية لعدد من نظم النقل.

التسلسل الهرمي للسرعات Speed Hierarchies. السرعة مسألة نسبية، فالقول إن السرعة بطيئة أو سريعة أو مرتفعة يعد عديم الدلالة ما لم يعرف الإطار والمضمون الذي يتم فيه تقويم هذه السرعة. ويمكن تحديد تسلسل هرمي للسرعات العملية بحيث يمكن أن تكون السرعة البطيئة في إطار معين سريعة جداً لإطار آخر. ويعطي الجدول (٥ ,٩) تقسيماً ممكناً لإطارات السرعة مع مجالات تطبيقها. ومن الواضح وجود تداخل بين القيم القصوى لكل إطار مع الإطار المجاور له. ويشير الجدول (٥ ,٩) إلى أن السرعات العالية جداً ليست مهمة فعلياً، وتسود السرعات التي تبلغ ١٣٠ كم/ ساعة (٨٠ ميلاً/ ساعة) أو أقل جميع الحالات داخل المدن وفي عديد من التحركات الخلوية وبين المدن. ويعد الالتزام بالجدول الزمني للرحلات أهم بكثير من تحقيق سرعات عملية عالية. فالوقت الضائع والإزعاج اللذان يرافقان التسارع والتباطؤ من السرعات العالية وإليها، يلغيان استعمال السرعات العالية في النقل لمسافات قصيرة، أو عندما تكون محطات الوقوف قريبة من بعضها. انظر الجزء التالي حول تأثير السرعة على المسافة البينية للمحطات.

الجدول (٤, ٩): حدود السرعة لوسائل النقل المختلفة

وسيلة النقل	المدى الطبيعي	الحد الأقصى العملي	الحد الأقصى التجريبي
١) السكك الحديدية[أ]			٢٠٥ أميال/ ساعة
ركاب – خط رئيسي	٧٥ إلى ١٠٠ ميلاً/ ساعة[ب]	١٥٠ ميلاً/ ساعة	
ركاب – ثانوي	٦٠ إلى ٧٠ ميلاً/ ساعة		
ركاب – خط فرعي	٣٠ إلى ٥٠ ميلاً/ ساعة		
المتوسط الإحصائي	–	٧٩ ميلاً/ ساعة	
بضائع – سريع	٥٠ إلى ٩٠ ميلاً/ ساعة	٩٠ ميلاً/ ساعة	
بضائع – عادي	٤٠ إلى ٥٠ ميلاً/ ساعة		
بضائع – بطيء	٢٥ إلى ٤٠ ميلاً/ ساعة		
بضائع – ميول حادة	١٠ إلى ٢٠ ميلاً/ ساعة		
المتوسط الإحصائي	٢٠,٤ ميلاً/ ساعة		
٢) سيارات الركاب	٦٠ إلى ٧٠ ميلاً/ ساعة	١٠٠ إلى ٢٠٠ ميل/ ساعة	٦٣١,٦ ميل/ ساعة
٣) الشاحنات	٦٠ إلى ٧٠ ميلاً/ ساعة	٧٠ ميلاً/ ساعة	
عند الميول	٦٠ إلى ٧٠ ميلاً/ ساعة		
عند الميول الحادة والحركة داخل المدن	٦٠ إلى ٧٠ ميلاً/ ساعة		
المتوسط	٦٠ إلى ٧٠ ميلاً/ ساعة		
٤) السفن في المياه العميقة			
خطوط الركاب	٦٠ إلى ٧٠ ميلاً/ ساعة	٣٥,٥٩ عقدة بحرية	
سفن الشحن	٦٠ إلى ٧٠ ميلاً/ ساعة	٣٠ عقدة بحرية	
سفن البضائع في البحيرات العظمى	٦٠ إلى ٧٠ ميلاً/ ساعة	٢٠ عقدة بحرية	

تابع الجدول (٩,٤).

وسيلة النقل	المدى الطبيعي	الحد الأقصى العملي	الحد الأقصى التجريبي
٥) الصنادل المقطورة			
أسفل نهر المسيسيبي			
عكس التيار	٦ إلى ٨ أميال / ساعة		
مع التيار	١٠ إلى ١٤ أميال/ ساعة		
أعالي نهي المسيسيبي ونهر أوهايو			
عكس التيار	٥ إلى ٧ أميال / ساعة		
مع التيار	٨ إلى ١٠ أميال / ساعة		
عكس التيار في الفيضانات	٢ إلى ٤ أميال / ساعة		
الممرات الساحلية	٦ إلى ٨ أميال / ساعة		
٦) الطائرات			
طائرات خاصة بمحرك أو محركين	١٢٥ إلى ١٥٠ ميلاً / ساعة		
طائرة تجارية بمحركين	١٥٠ إلى ٣٠٠ ميل/ ساعة		
طائرة نقل بأربعة محركات	٣٠٠ إلى ٤٠٠ ميل/ ساعة		
طائرات نفاثة بثلاثة أو أربعة محركات	٤٠٠ إلى ٦٠٠ ميل/ ساعة		
طائرات عسكرية وتجريبية	١,٠٠٠ ميل/ ساعة أو أكثر		٢,٠٧٠ ميل/ ساعة
٧) خطوط الأنابيب	١ إلى ٥ أميال / ساعة		
٨) سيور متحركة	٣٠٠ إلى ٨٠٠ قدم/ دقيقة (٣,٤ إلى ٩,١ أميال / ساعة)		
٩) عربات هوائية معلقة	٤ إلى ٦ أميال / ساعة		
١٠) مركبة تعمل بمحرك الحث الخطي			٢٥٥ ميل/ ساعة

(أ) تتطلب السرعة العالية جودة صيانة السكة، وما السرعات الأبطأ في السنوات الأخيرة إلا نتيجة لسوء حالة السكة وتأخير صيانتها.

(ب) ملاحظة: ١ ميل/ ساعة = ١,٦٠٩كم/ ساعة، ١ عقدة بحرية = ١,٨٥٢كم/ ساعة.

الجدول (٩،٥): التسلسل الهرمي للسرعات العملية.

درجة التسلسل	مدى السرعة النمطية ميل/ساعة (كم/ساعة)	وسائل النقل النمطية	مجالات التطبيق الملائمة
I داخل المدن	٣ إلى ٢٠ (٤,٨ إلى ٣٢,٢)	المشي، الدراجات العادية، السيارات، الحافلات، الشاحنات	للمسافات القصيرة: ١ إلى ٥ أميال (١,٦ إلى ٨,١كم) في منطقة وسط المدينة، وداخل الجامعات، والمراكز التجارية، وداخل المطارات... إلخ.
خارج المدن وفيما بينها		خطوط الأنابيب، المقطورات النهرية، السيور المتحركة، سفن النقل السائب، العربات الهوائية المعلقة.	لمسافات النقل الطويلة التي تتراوح بين ٥ و ٢٠٠٠ ميل أو أكثر (٨ إلى ٣٢١٨كم) للنقل بين المدن، وبين المحطات، ما عدا السيور المتحركة والعربات الهوائية المعلقة التي لا يتجاوز مداها عادة ٢٠ ميلا (٣٢,٢كم).
II داخل المدن	٢٠ إلى ٤٥ (٣٢,٢ إلى ٧٢,٤)	السيارات، الحافلات، النقل العام السريع بالقطارات، النقل العام السريع بالحافلات، النقل العام السريع الفردي، أنظمة النقل العام، الشاحنات.	للمسافات المتوسطة: ٥ إلى ٢٠ ميلاً (٨ إلى ٣٢,٢كم)، الشوارع الرئيسية، الطرق الحضرية السريعة، والسكك الحديدية الحضرية من وإلى منطقة وسط المدينة، وأيضا الطرق الحضرية السريعة في الضواحي.
خارج المدن وفيما بينها		القطارات الثقيلة، القطارات المفردة، وقطارات الشحن.	للمسافات الطويلة بين المدن: ٢٠ إلى ٢٠٠٠ ميل أو أكثر (٣٢,٢ إلى ٣٢١٨كم)
III داخل المدن	٤٥ إلى ٨٠ (٧٢,٤ إلى ١٢٨,٧)	السيارات، الحافلات، الشاحنات، بعض قطارات الشحن، قطارات الركاب	للنقل داخل المدن والضواحي: ١٠ إلى ٥٠ ميلاً أو أكثر (١٦,١ إلى ٨٠,٥كم)، بعض الطرق السريعة، والنقل العام السريع لخدمة الضواحي.
خارج المدن وفيما بينها		المستخدمة نفسها داخل المدن	للنقل بين المدن للمسافات الطويلة: ٥٠ إلى ٢٠٠٠ ميل أو أكثر (٨٠,٥ إلى ٣٢١٨كم)، ممرات تخدم مناطق بأكملها.

تابع الجدول (٩,٥).

درجة التسلسل	مدى السرعة النمطية ميل/ساعة (كم/ساعة)	وسائل النقل النمطية	مجالات التطبيق الملائمة
IV داخل المدن	٨٠ إلى ١٢٥ (١٢٨,٧ إلى ٢٠١,١)	لا ينطبق هنا	
خارج المدن وفيما بينها		بعض السيارات، القطارات عالية السرعة (وقليل من قطارات البضائع)، الطائرات الصغيرة، الطائرات العمودية.	لممرات خدمة المناطق والمسافات الطويلة من ٥٠ إلى ١٠٠٠ ميل (٨٠,٥ إلى ١٦٠٩كم) للركاب، والسلع التجارية، والبريد العادي والسريع.
V داخل المدن	١٢٥ إلى ٣٠٠ (٢٠١,١ إلى ٤٨٢,٧)	لا ينطبق هنا	
خارج المدن وفيما بينها		قطارات الركاب المتطورة، الطائرات، مركبات محركات الحث الخطي، والمركبات المعلقة على وسائد هوائية أو مغناطيسية.	النقل الأرضي عالي السرعة: خدمة الممرات والخدمة المغذية (تجميع وتوزيع) لمسافة ٥٠ إلى ٥٠٠ ميل (٨٠,٥ إلى ٨٠٤,٥كم)
VI داخل المدن	٣٠٠ إلى ١,٠٠٠ (٤٨٢,٧ إلى ١,٦٠٩)	لا ينطبق هنا	
خارج المدن وفيما بينها		أفكار لأنظمة المستقبل، طرق أنبوبية، طائرات نفاثة، طائرات خارقة للصوت.	للخدمة السريعة للممرات الطويلة داخل القارات وفيما بينها.

وقد سبق أن شرحنا في الفصل الثامن أن السرعات على الطرق والشوارع تعد من عوامل مستوى الخدمة الوثيقة الصلة بسعات مسارات الطرق، وبمستويات الخدمة الست من (A) حتى (F)، فالسرعات العملية للأربع الأول منها وهي (A) و(B) و(C) و(D) تساوي، على الترتيب ٦٠, و٥٥, و٥٠, و٤٠ ميلاً/ ساعة (٩٧, و٨٩، و٨١, و٦٥ كم/ ساعة). وتتراوح السرعة للمستوى (E) بين ٣٠ و ٣٥ ميلاً/ ساعة (٤٨ إلى ٥٦ كم/ ساعة)، ويمثل المستوى (F) تدفقاً بسرعة تقل عن ٣٠ ميلاً/ ساعة (٤٨ كم/ ساعة). ويمكن، أيضاً، إعتبار أن هذه المستويات تمثل مختلف مستويات نوعية الخدمة كما تمثل، أيضاً، مستويات السعة. وفي الواقع، يمكن للمصمم أن يبدأ باختيار نوعية السرعة المرغوب فيها، أو مستوى الخدمة المطلوب، ثم تصمّم سعة الطريق لتحقيق السرعة المتوخاة.

ومن الممكن، من الناحية التقنية، الوصول إلى سرعة ٢٠٠ ميل/ ساعة (٣٢٢ كم/ ساعة) في المركبات البرية، وربما يمكن تحقيقها عن طريق إدخال تحسينات على التقنيات القائمة. وهناك نظريات في دور التطوير قد تؤدي في النهاية إلى وجود نظم نقل برية قادرة على تحقيق سرعة تتراوح بين ٢٠٠ و ٥٠٠ ميل/ ساعة (٤٨٥ إلى ٨٠٥ كم/ ساعة) أو أكثر. ولكن تكاليف تطوير مركبات تسير بسرعة تزيد على ٢٠٠ ميل/ ساعة (٣٢٥ كم/ ساعة) هي تكاليف مرتفعة جداً ولا يمكن تبريرها إلا بتحقيق زيادة كبيرة في السرعة كي تكون مجدية اقتصادياً. ويبقى السؤال : هل هذه السرعات العالية تستحق تلك التكاليف المرتفعة؟ إن ذلك يعتمد على الفوائد التي تعود على المجتمع من جرائها مما يطرح بعض الأسئلة التي لهامضاعفات فلسفية واجتماعية.

محطات الوقوف ومسافاتها البينية Station Stops and Spacing. من الواضح وجود تأثير لزمن التوقف عند المحطة على متوسط زمن الحركة والوقت الكلي للرحلة من الباب إلى الباب. فكلما كان التوقف في المحطة أطول، طال زمن الرحلة. ويعتمد الوقت الذي يستغرقه إنزال الركاب وصعودهم إلى المركبة على كل من تصميم المركبة والمحطة. وسنبحث موضوع المحطات في الفصل العاشر.

وتؤثر المسافة بين المحطات كثيراً على زمن الحركة، خصوصاً عندما تكون محطات الوقوف قريبة من بعضها كما في عمليات النقل العام بالحافلات أو النقل العام السريع بالقطارات. ويظهر في الشكل (٩,٢) قطار أو حافلة تتوقف في محطات تبعد عن بعضها مسافة نصف ميل، ويلاحظ أن السرعة القصوى للحركة تتحقق في جزء قصير، فقط، من تلك المسافة، وذلك بسبب الوقت والمسافة اللازمين للتسارع والتباطؤ. والسرعة المتوسطة مبينة في الشكل بخط متقطع.

وإذا كانت المسافة بين التوقفات ميلاً واحداً، فإن السرعة المتوسطة تكون أعلى (الخط المنقط)، لأنه يمكن للمركبات الحركة بالسرعة القصوى لمسافة أطول (مقارنة بالمسافة البينية التي قدرها نصف ميل). ويمكن زيادة المسافة البينية للمحطات عند إنشائها، أو عن طريق إغلاق محطة وإبقاء التي بعدها مفتوحة . . وهكذا. ولكن هذا الحل يقلل مستوى الخدمة، وسيضطر الركاب الذين يعيشون أو يعملون بين المحطات أن يسيروا على الأقدام مسافات أطول للوصول إلى المحطة. وفي هذه الحالة، فإن بعض هؤلاء سيلجأوون، بدون شك، لاستعمال وسيلة نقل أخرى. كما أن زمن التوقف في المحطات التي بقيت مفتوحة سيزيد بسبب زيادة عدد الركاب الراغبين في الصعود أو النزول من المركبات، مما قد يلغي التوفير الذي تحقق بتقليل زمن الحركة عن طريق زيادة المسافة بين المحطات.

ويمكن إبقاء المسافة البينية القصيرة (البالغة نصف ميل في الشكل ٢ ,٩) مع تحسين السرعة عن طريق برمجة عملية تشغيل القطارات بحيث يسمح لقطار (أ) مثلاً بالوقوف في محطة وتجاوز المحطة التالية دون توقف، في حين أن القطار الثاني (ب) يقف، فقط، في المحطات التي لم يقف عندها القطار (أ)، وهكذا. وفي هذه الحالة، فإن القطار أو الحافلة ستسير ميلاً واحداً قبل أن تقف عند المحطة. وفي حالة وجود سكك حديدية مزدوجة أو استخدام تفريعات جانبية للتجاوز، فإن ذلك يتيح توفير خدمة سريعة بحيث يقف القطار عند كل ثالث، أو كل رابع، أو كل خامس محطة، وهذه الخدمة ممكنة حتى في ظل وجود قطارات محلية بطيئة الحركة على السكك الأخرى. وهناك إمكانية أخرى، وذلك بالسماح للقطار أو للحافلة أن تتوقف عند كل محطة من المحطات التي في بداية الخط إلى أن تمتلئ، وبعدها تنطلق بسرعة إلى محطتها النهائية (وسط المدينة، مثلاً) من دون توقف. وهذا الحل طبعاً، يفترض أن جميع الركاب ذاهبون إلى وسط المدينة. ثم يأتي قطار آخر أو حافلة ثانية وتبدأ من المحطة التي تلي آخر محطة توقفت عندها الحافلة السابقة وتقف كذلك عند كل محطة تالية إلى أن تمتلئ ثم تذهب إلى المحطة النهائية من دون توقف، وهكذا. وللحركة في الاتجاه المعاكس (إلى أطراف المدينة، مثلاً) تعكس العملية السابقة بحيث تنطلق المركبات مسرعة دون توقف ثم تبدأ في التوقف عند كل محطة في نهاية الخط.

وهناك أسلوب آخر لزيادة السرعة يتمثل في استخدام محركات قاطرات لها قدرة حصانية أكبر (ولكن بتكلفة أعلى). وهذه توفر تسارعاً أكبر وسرعة حركة أكبر كما هو موضح في الخطوط المنقطة في الشكل (٢ ,٩).

إن أهمية تأثير المسافة البينية للمحطات على متوسط السرعة العملية مبينة في الشكل (٣ ,٩). وبغض النظر عن السرعة القصوى الممكنة لحركة المركبة، فإنه لا يمكن الوصول إليها إلا إذا كانت المسافة بين المحطات ٥ أميال أو أكثر. ولهذا - كما ذكر سابقاً - فإن بذل الأموال في تطوير مركبات قادرة على الوصول لسرعات عالية سيكون عديم الفائدة إذا كانت المسافة بين محطات التوقف قصيرة بحيث تمنع هذه المركبات من السير بسرعتها القصوى.

وتعتمد مدة وقوف المركبة بالمحطة على عدد الركاب الذين سيصعدون أو سيغادرون المركبة. وهذا، أيضاً، يعتمد على المسافة البينية للمحطات وأيضاً، على التقاطر الزمني للحافلات. وكلما زادت المسافة البينية للمحطات يزداد عدد الركاب المتجمعين في المحطة وينقص عددهم عند زيادة تردد القطارات وقصر التقاطر الزمني لها. وتتراوح مدة وقوف الحافلات عند المحطات بين ٥ و ١٠ ثوانٍ (أطول عند نقاط التحويل)، وبين ٢٠ و ٤٠ ثانية للقطارات.

زمن الرحلة من الباب إلي الباب Door-to-Door Time. إن ما يهم الركاب هو زمن الرحلة الكلي (من الباب إلى الباب) منذ مغادرتهم باب مقرهم عند ابتداء الرحلة (المنبع) إلى دخول باب مقرهم الجديد عند انتهائها (المقصد). ولا يهمهم سرعة حركة المركبة بحد ذاتها. ولا يشكل الوقت الذي يمضيه الراكب في المركبة إلا جزءاً يسيراً من الزمن الكلي الذي يقضيه في الرحلة. والزمن الإجمالي للرحلة يحتوي، أيضاً، على الوقت اللازم للوصول إلى المحطة والتحويل من مركبة إلى أخرى إذا كان ذلك ضروريًا والتأخير أثناء الوقوف في صفوف الانتظار لشراء تذكرة الرحلة وتسليم العفش والتفتيش الأمني، ووضع السيارة في مواقفها، وحتى الوقت الذي يقضيه الشخص في مصعد المبنى الذي تنتهي فيه الرحلة. وسنناقش في الفصل العاشر حركة البضائع والتأخير الذي تتعرض له.

السرعة (ميل/ساعة)

سرعة السير لمسافة بينية قدرها ٠,٥ ميل

السرعة المتوسطة لمسافة بينية قدرها ٠,٥ ميل

سرعة السير لمسافة بينية قدرها ميل واحد وقدرة حصانية أعلى

السرعة المتوسطة لمسافة بينية قدرها ميل واحد

سرعة السير لمسافة بينية قدرها ميل واحد

السرعة المتوسطة لقدرة حصانية أعلى

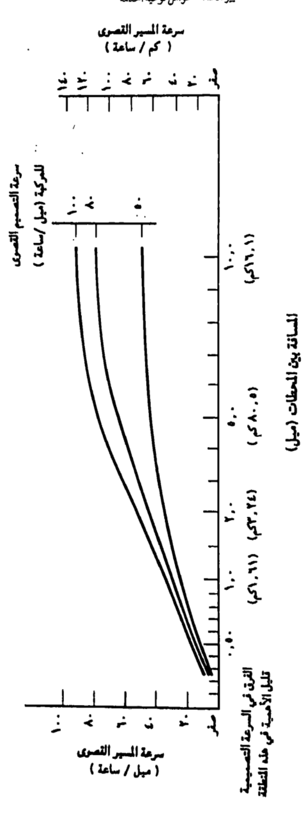
صفر ٠,٥ ١,٠ ١,٥ ٢,٠ ٢,٥

المسافة بين المحطات (ميل)

صفر ٠,٥ ١,٠ ١,٥ ٢,٠ ٢,٥ ٣,٠ ٣,٥ ٤,٠

المسافة بين المحطات (كيلومتر)

الشكل (٩,٢). تأثير المسافة بين المحطات والقدرة الحصانية على السرعة



الشكل (٣,٩). أهمية المسافة بين المحطات بالنسبة للسرعة.

ويمكن تمثيل الرحلة النموذجية التي يقوم بها الشخص من منزله إلى مقر عمله باستخدام النقل العام بالسكك الحديدية حسب المعادلة التالية :

$$T= t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7$$

حيث إن :

T = الوقت الإجمالي الذي تستغرقه الرحلة بالدقائق (من الباب إلى الباب).

t_1 = الوقت اللازم للذهاب إلى المحطة ، وهذا يتراوح بين ٢ و ٣ دقائق حتى ٢٠ دقيقة أو أكثر حسب المسافة بين المنزل والمحطة ، وأيضاً ، حسب وسيلة النقل المستعملة ، أي المشي أو الحافلة أو السيارة .

t_2 = الوقت اللازم لإيقاف السيارة والمشي إلى رصيف المحطة ، والذي يتراوح بين دقيقة واحدة و ٥ دقائق حسب مساحة موقف السيارات وصعوبة الحصول على مكان للوقوف . أما إذا قدم الراكب إلى المحطة ماشياً على قدميه ، أو قامت سيارة بتوصيله دون وقوفها في الموقف ، فإن قيمة t_2 في هذه الحالة تتراوح بين صفر و ٣٠ ثانية .

t_3 = زمن الانتظار لحين قدوم القطار . ويمكن اعتبار هذا الوقت يساوي ٥ دقائق للإحتياط ، فقط ، إذ يفترض أن يصل القطار في موعده .

t_4 = إمكانية التحويل إلى قطار آخر لتغيير الخط والاتجاه ، وتستغرق عملية التحويل مابين دقيقتين و ٥ دقائق أو أكثر .

t_5 = زمن حركة القطار التي أشرنا إليها سابقاً .

t_6 = زمن الرحلة إلى المقصد النهائي ، وهذا ، طبعاً ، يعتمد على وسيلة النقل والمسافة . ويمكن أن تكون وسيلة النقل على الأقدام ، أو استعمال حافلة أو سيارة أجرة أو قطار آخر ، وتتراوح قيمته بين دقيقتين و ١٠ دقائق .

t_7 = مدة الانتظار واستعمال المصعد إلى الدور الذي يقع فيه المكتب ، والمدة هنا تتراوح بين ١ و ٥ دقائق .

وعند جمع كل هذه الأوقات ، نجد أنها تتراوح بين ١٣ و ٣٣ دقيقة بدون زمن حركة القطار .

وعند استعمال السيارة للقيام بكامل الرحلة ، فإن الزمن الإجمالي للرحلة سيشمل كلاً من السير عبر الطرق المحلية إلى الطريق الرئيسي ، والتأخير الذي قد ينتج عن الاختناق عند مداخل الطريق السريع أو مخارجه ، والإختناق فوق الطريق السريع (الذي قد يصل إلى الوقوف التام) كلما اقتربنا من وسط المدينة ، والوقت اللازم للحصول على موقف للسيارة ، وأخيراً المشي أو ركوب حافلة محلية للوصول إلى نهاية الرحلة . وطبعاً ، قد تختلف المكونات المذكورة لهذه الرحلة ، أو رحلة القطار السابق ذكرها ، ولكن المهم هنا توضيح النمط العام . والقارئ مدعو لسرد مكونات رحلته اليومية للعمل أو الجامعة .

أما عند السفر بالطائرة فتبدأ الرحلة بالذهاب إلى المطار باستخدام السيارة أو الحافلة أو النقل العام بالقطارات ، وهذا الجزء قد يستغرق مابين ١٥ و ٦٠ دقيقة أو أكثر حسب المسافة ووسيلة النقل المستخدمة ودرجة الازدحام في الطريق . ومن المستحب ، في معظم المدن الكبرى ، أن تبدأ رحلة الذهاب إلى المطار قبل ساعة أو أكثر من موعد

إقلاع الطائرة. إذ يجب صعود الطائرة قبل ٢٠ دقيقة، في الأقل، من وقت الإقلاع، كما قد يستغرق وقت الانتقال إلى المطار الذي يبعد ما بين ٥ و ٢٠ ميلا أو أكثر زمناً قدره ٢٠ دقيقة (يكفي لقطع عدة مئات من الأميال بالطائرة). وعند وصول الطائرة إلى المطار الآخر، يحدث تأخير إضافي بسبب انتظار الأمتعة، وأحياناً للانتقال من الطائرة إلى صالة المطار بوساطة العربات المتنقلة.

ويتضح مما سبق أن موقع المطار أو محطات السكك الحديدية أو محطات الحافلات ودرجة قربها من بدايات الرحلات ونهاياتها، من العوامل المهمة في تقليل الزمن الإجمالي للرحلة. فوجود محطات للحافلات والقطارات في وسط المدينة يقلل كثيراً من وقت الوصول للمحطة من تلك المنطقة، كما أن التوقف في محطة أو أكثر في الضواحي سيكون له الأثر نفسه للركاب في أطراف المدينة. وبسبب طول الوقت اللازم للوصول إلى المطارات والخروج منها، فإن القطارات عالية السرعة تستطيع منافسة السفر بالطائرة من ناحية الوقت الإجمالي للرحلة إذا كانت المسافة بين نقطتي البداية والنهاية تتراوح بين ١٠٠ و ٢٠٠ ميل أو أكثر.

ويمكن تخفيض الزمن الإجمالي للرحلة أيضاً بإنشاء المباني المهمة ومراكز الأنشطة قريبة من المطارات أو محطات القطارات أو محطات الحافلات. وهذه الأمور لها أهميتها الخاصة في علوم تخطيط المدن.

التسارع والتباطؤ Acceleration and Deceleration. يؤثر المعدل الذي تستطيع به المركبة زيادة سرعتها وتقليلها كثيراً على الزمن الإجمالي لرحلتها. ويعود السبب، ولو جزئيًا، في إرتفاع السرعة المتوسطة التي يمثلها الخط المنقط في الشكل (٢, ٩) إلى ارتفاع معدل التسارع للمركبة.

لقد سبق أن بيّنا في الفصول السابقة أن القدرة الحصانية وقوة الدفع تتغيران مع السرعة، ويعود السبب في ذلك، جزئيًا، لتغير مقاومة الدفع مع السرعة. وعند قدرة حصانية معينة، فإن قوة الدفع أوالسحب تتغير عكسياً مع السرعة. وبالتالي يمكن عند قوة دفع ثابتة الحصول على سرعة عالية، أو سحب حمولة ثقيلة، ولكن لا يمكن تحقيق سرعة عالية وسحب حمولة ثقيلة معاً في الوقت نفسه. وفي تصميم وسائل النقل وتشغيلها، فإن الحصول على سعة نقل كبيرة تكون دائماً على حساب السرعة، وبالعكس. وعند قيام قطار أو شاحنة بتسلق ميول مرتفعة فإن مقاومة الارتفاع والميول تقلل من السرعة. كما أن قوة الجاذبية تساعد على زيادة التسارع في الطرق المنحدرة. وهكذا نستطيع القول إن السرعة القصوى للمركبة أو سرعة التوازن تحدث عندما تتساوى قوتا الدفع والمقاومة، هذا إذا اعتبرنا أن جميع العوامل الأخرى ثابتة. والحقيقة أن التسارع هو شكل من أشكال المقاومة لأن التغلب على مقاومة السرعات العالية يتطلب قدرة حصانية وقوة دفع إضافية (وزيادة في استهلاك الوقود).

وهناك مسألة متكررة في التسارع وهي تحديد المسافة والوقت اللازمين للتسارع من سرعة معينة إلى أخرى. ويمكن اشتقاق المعادلات الرياضية المتعلقة بذلك باستعمال نظرية الطاقة الحركية، أي الشغل المبذول لتحريك كتلة ما بسرعة معينة.

$$F_a \times S = \frac{1}{2} m v^2$$

حيث إن :

S = المسافة بالأقدام التي يحدث التسارع خلالها .

F_a = القوة المتوافرة للتسارع . وهذه تساوي جهد الجر ناقصاً المقاومة عند سرعة(v) قدم/ ثانية .

m = كتلة المركبة ، وتساوي الوزن بالرطل مقسوماً على التسارع بسبب الجاذبية والذي يبلغ ٢ , ٣٢ قدم/ ثانية مربعة .

v = السرعة بالقدم/ ثانية .

وإذا حللنا المعادلة لحساب (S) وحولنا السرعة (v) إلى ميل/ ساعة والوزن (w) بالرطل إلى (W) بالأطنان ، نحصل على :

$$S = \frac{66.8 \ WV^2}{F_a}$$

أما المركبات البرية التي تسير على عجلات ، فتتطلب توفير طاقة إضافية لنقل الطاقة الدوارة إلى العجلات . وعادة ما تعد قيمة هذه الطاقة الإضافية ٥ ٪ من الطاقة الكلية ، إذن ، تصبح المعادلة السابقة :

$$S = \frac{70 \ WV^2}{F_a}$$

ويمكن تمثيل المسافة اللازمة للتسارع من سرعة إبتدائية V_1 إلى سرعة نهائية V_2 بالمعادلة .

$$S = \frac{70 \ W \ \left(V_2^2 - V_1^2\right)}{F_a}$$

ولحساب الوقت اللازم للتسارع نعوض عن قيمة S بحاصل ضرب السرعة في الزمن لنحصل على :

$$F_a \times vt = \frac{1}{2} mv^2$$

وباتباع طريقة اشتقاق مماثلة لطريقة اشتقاق المسافة ، فإن الوقت بالثواني اللازم للتسارع من سرعة معينة إلى أخرى يصبح :

$$t = \frac{95.6 \, W(V_1 - V_2)}{F_a}$$

وعندما تكون قوة التسارع مقدرة لكل طن ، فإن :

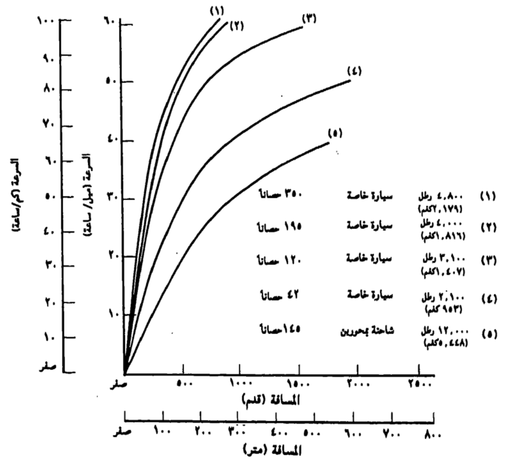
$$S = \frac{95.6 \ \left(V_2^2 - V_1^2\right)}{F_a'} \quad ، \quad t = \frac{95.6 \ (V_1 - V_2)}{F_a'}$$

حيث إن :

$$F_a' = \frac{F_a}{W}$$

ولكن التسارع لا يحدث بمعدل ثابت. فتمثيلها البياني هو خط منحن وليس خطاً مستقيماً. والحل العملي لهذه المسألة هو اعتبار زيادات صغيرة متتابعة للسرعة من الصفر إلى ٢، ومن ٢ إلى ٤، ومن ٤ إلى ٦ أميال / ساعة، وهكذا، ثم حساب قيمتي المسافة والوقت باستعمال السرعة المتوسطة وقوة التسارع لكل مدى من السرعات.

ويمكن بذلك رسم منحنيات لتمثيل العلاقات بين السرعة والمسافة، والسرعة والزمن، والزمن والمسافة عن طريق حل المعادلتين الرئيسيتين. وعند تطبيق الأجزاء المناسبة من هذه المنحنيات على القطاع العرضي لسكة حديدية أو لطريق أو لسكة قطار أحادي القضيب، فإنه يمكننا، عندئذ، حساب العلاقة الكلية ورسمها بين السرعة، وميول الطريق والزمن والمسافة، وكذلك أداء القوة المحركة عند حركتها على الطريق. وهذه المعلومات لها قيمة كبيرة في تحديد الجداول الزمنية للرحلات وفي التنبؤ بالأداء المتوقع وفي دراسة القطاعات العرضية للطرق والمحركات وتصميمها. ويبين الشكل (٤ , ٩) قدرات التسارع لمختلف التصميمات الحديثة للسيارات.



الشكل (٤ , ٩). تأثير الوزن والقدرة الحصانية على تسارع السيارة الخاصة.

(Based on Table 2.5, p. 21 of the *Transportation and Traffic Engineering Handbook*, John Baerwald, Editor, Institute of Traffic Engineers, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1976.)

وقد جرى تطوير برامج لحساب أداء المركبات بإستخدام الحواسيب. فمثلاً، طوّر الدكتور دركر (Druker) في عام ١٩٦٤ م برنامجاً لحساب أداء القطار، وذلك في جامعة إلينوي الأمريكية، والذي استخدامه عديد من شركات السكك الحديدية. ويبين الشكل (٥, ٩) مثالاً على ذلك.

ويمكن استخدام المعادلات السابقة الذكر بالطريقة نفسها لحساب وقت التباطؤ ومسافته، حيث يشار للتباطؤ بقيم سالبة للوقت والمسافة إذا التزم بدقة بموقعي السرعتين الابتدائية والنهائية في تلك المعادلات. وتصبح (F) هي قوة التباطؤ التي تساوي – في حالة عدم استخدام المكابح للتباطؤ – تأثير مقاومات الدفع والميول التي تعيق الحركة. وتضاف إلى تلك القوى قوة الكبح عند تقليل السرعة باستخدام المكبح. وعند حساب مسافة الكبح، تبقى المعادلات كما هي باستثناء تغير القوة (F_a) التي تصبح (F_b)، وهي قوة الكبح التي تشمل قوة المكابح نفسها بالإضافة للتباطؤ بفعل مقاومات الميول والدفع.

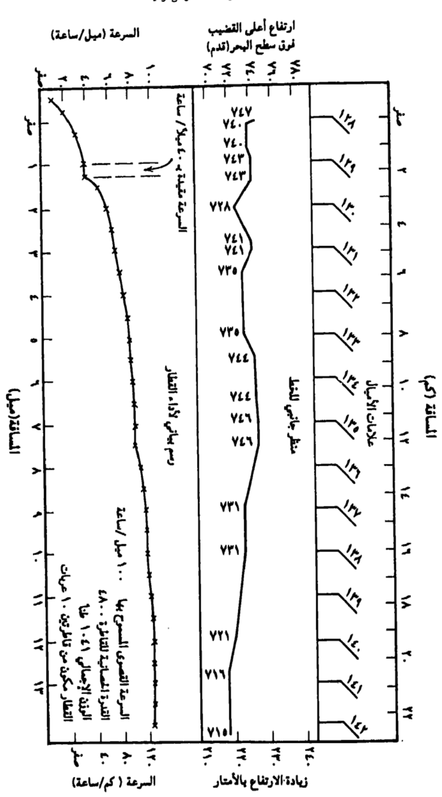
ويشير الدكتور سلكوكس (Sillcox) إلى أن قوة الكبح القصوى لا تتحقق إلا إذا استمرت العجلات بالدوران عندما يكون معامل الاحتكاك المتوافر بين العجلة والقضيب، أو بين الإطار ورصف الطريق، مساوياً ١٠٠٪، أي عندما تكون القوة المقاومة للانزلاق مساوية للوزن الذي تلقيه المركبة على الطريق. وفي الحالات المثالية التي نادراً ما تتحقق فإن قضيب السكة المصقول جيداً يعطي قيمة التصاق قدرها ٤٠٪ من وزن العربة، وتعد القيمة ٥٠٪ الحد الأقصى العملي للتصميم حالياً. وهذا يؤدي إلى تقييد قيمة التباطؤ بـ ٤, ٦ قدم (٩٥, ١ متر) لكل ثانية مربعة، أو ٤, ٤ ميل/ ساعة/ ثانية (٠٨, ٧ كم/ ساعة/ ثانية).

أما إطارات السيارات فيمكنها الالتصاق بنسبة تصل إلى ١٠٠٪ بالأسطح الخرسانية الجافة للطرق مما يتيح تحقيق عجلة تباطؤ قدرها ٢, ٣٢ قدم/ ثانية مربعة (والتي تساوي عجلة الجاذبية).[٨] ولكن، عملياً، تكون تلك القيم عادة بين ٤٠٪ و ٨٠٪ عند سرعة ٢٠ ميلاً/ ساعة (٢, ٣٢ كم/ ساعة)، و ٧٦, ٠ عند سرعة ٤٠ ميلا/ ساعة (٤, ٦٤ كم/ ساعة). والقيم المقابلة بالنسبة للرصفية المبللة هي ٤٠, ٠ و ٣٠, ٠، على الترتيب. والقيم التصحيحية المقترحة لمعامل الاحتكاك لجميع أنواع الرصفيات والأحوال هي ٣٠٪ عند سرعة ٦٠ ميلاً/ ساعة (٥, ٩٦ كم/ ساعة)، و٢٧, ٠ عند سرعة ٨٠ ميلاً/ ساعة (١٢٨,٧ كم/ ساعة).[٩] ولكن القيمة الفعلية لمعامل الاحتكاك لجميع أنواع المركبات التي تسير على عجلات تعتمد على كل من السرعة والمواد التي صنعت منها العجلات ومواد سطح الطريق وعما إذا كان سطح الطريق مبللاً أو جافاً أو ملطخاً بالزيت أو تعلوه طبقة رقيقة من الجليد. كما تعتمد المسافة الإجمالية اللازمة للوقوف، أيضاً، على زمن الإدراك للسائق والزمن الذي يحتاجه للضغط على المكبح. ويتفاوت زمن الإدراك من ٥٠, ٠ إلى ٣, ٠ ثوان حسب قدرات السائق والظروف المحيطة. كما يتراوح زمن الضغط على المكبح لسائقي المركبات التي تسير على الطريق بين ٢٠, ٠ و٧, ١ ثانية.

---

(٨) L.K. Sillcox, Mastering Momentum, 2nd edition, Simmons-Boardman, New york, 1955, p.33.

(٩) Transportation and Traffic Engineering Handbook, Institute of Traffic Engineers, John E. Baerwald, Prentice-Hall, 1975, Table 2.8, p. 28.



الشكل (٩,٥). رسم بياني لأداء القطار.

(Based on Train Performance Calculator Program Developed by Dr. R.W. Drucker, University of Illinois, 1965.)

وبالنسبة لقطارات السكك الحديدية، فإن المسافة التي يقطعها القطار خلال زمن الضغط على المكبح تُحْسَب بناء على الصيغة [$1.47\ V_i\ nt_b$] حيث (V_i) هي السرعة الابتدائية مقاسة بالميل/ ساعة، و(t_b) هو زمن الضغط على المكبح لكل عربة بالثواني، وn= عدد عربات القطار. وفي القطارات الحديثة عالية السرعة المزودة بمكابح هوائية سريعة التأثير ينتقل ضغط المكابح تتابعياً من عربة لأخرى بمعدل سريع يصل إلى ١٠ ,٠ ثانية لكل عربة.

العناية بالمنقولات
CARE OF TRAFFIC

تعد نوعية العناية المقدمة للمنقولات من الموضوعات الوثيقة الصلة بالسلامة وإن كانت تقع تحت تصنيف مختلف، ويقصد بالعناية بالمنقولات مدى راحة الركاب، ومدى المحافظة على البضائع من الفقدان أو من التلف والضرر خلال نقلها. ولا يقع موضوع التصميم المفصل للوفاء بتلك الحاجات ضمن نطاق هذا الكتاب.

راحة الركاب Comfort. بالرغم من أن راحة الركوب تبدأ من نعومة سطح الطريق أو السكة، إلا أنه يجب تصميم أنظمة تعليق المركبات لتقليل الارتجاج، والصدمات والتأرجح والإهتزاز إلى أقل حد ممكن. وذلك يتطلب وجود ماصّات للارتجاج وأجهزة الإمتصاص الأخرى مع الزنبركات الملائمة. كما أن وجود أجهزة دعم للمركبات التي تسير على وسائد هوائية وللسفن والطائرات، وأخرى لتقليل التأرجح الجانبي في أنظمة القطارات الأحادية القضيب، تعد جوانب أخرى مهمة لتوفير الراحة.

ويعد عامل الهدوء في التشغيل عاملاً إضافياً لراحة الركوب، فمثلاً، صممت أنظمة قطارات الأنفاق بباريس، وكذلك قطارات الأنفاق في مونتريال، لتعطي تشغيلاً هادئاً. وتساعد الصيانة المناسبة للعجلات والسكك الحديدية على زيادة هدوء حركة القطارات على السكك الحديدية. وتصدر حركة الإطارات المطاطية طنيناً ملحوظاً عند تحركها فوق الرصفيات، والذي قد يصبح مزعجاً خصوصاً عندما تكون الرصفيات محززة لتقليل احتمالات الانزلاق. ويجب إعطاء الاهتمام اللازم لعزل الصوت، ووضع المحركات وضعاً يقلل من ضجيج المحرك، كما هو معمول به، بنجاح، في الطائرات النفاثة حيث تتمتع بهدوء نسبي داخلها.

ويساهم التحكم بدرجة الحرارة داخل المركبات، أيضاً، في تحقيق الراحة. وقد أصبحت عملية التدفئة في الشتاء وتكييف الهواء في الصيف من المزايا المألوفة في مركبات اليوم. وكانت القطارات هي السبّاقة لتكييف الهواء. ويصبح وجود تكييف الهواء مهماً جداً في قطارات الأنفاق حيث تزداد الحرارة بفعل الحرارة المنبعثة من المحركات، بالإضافة إلى رطوبة الصيف الحار مما يتسبب في إيجاد أحوال مناخية غير مريحة. وقد ساعد التحكم بالحرارة على جعل السفر بالحافلات أكثر جاذبية ومتعة، كما يعد ضرورة قصوى بالنسبة للنقل الجوي عندما تحلق الطائرات في طبقات الجو العليا. وقد يكون تكييف الهواء في السيارات الخاصة مكلفاً عند ارتفاع أسعار الوقود لأنه يزيد استهلاك الوقود.

ولابد من وجود التهوية المناسبة مع التحكم في درجة الحرارة، إذ سريعاً ما يستنفد الأشخاص الموجودون داخل المركبة كمية الهواء النقي الموجود فيها، لذا يجب تجديد الهواء داخل المركبة باستمرار حفاظاً على صحة الركاب وراحتهم.

وتساعد المقاعد المبطنة بوسائد في تقليل تأثيرات اهتزاز المركبة وارتجاجها. ويفضل استخدام المقاعد الوسائدية، في الأقل، في الرحلات الطويلة، ولكن عادة ماتستعمل مقاعد لدنة بدون وسائد في الرحلات لمسافات قصيرة في النقل العام السريع بالقطارات. وتعد أحزمة المقاعد (أحزمة الأمان) ضرورية في الطائرات، وفي السيارات من أجل السلامة، وربما تكون إحدى مزايا أنظمة النقل الأرضي عالي السرعة. وتشمل اعتبارات راحة الركاب كلاً من عرض المقعد وترتيب المقاعد داخل المركبة، وأيضاً، وجود مقاعد من عدمه. ففي قطارات الأنفاق، حيث يكون زمن الرحلة قصيرا، عادة، يمكن وضع عدد محدود من المقاعد مع تخصيص معظم مساحة المركبة للواقفين، ووضع مقابض علوية متدلية للإمساك بها أثناء الرحلة. أما عدد المقاعد في الصف الواحد فهو مقعدان أو ثلاثة مقاعد متلاصقة تساعد على تحقيق كل من الراحة وزيادة عامل التحميل.

ويتحد عامل راحة المقعد مع الخصوصية في عامل واحد للراحة ونوعية الخدمة. فخدمة الدرجة الأولى تتميز بالمقاعد الوثيرة والواسعة مع التمتع بالخصوصية، كما في قسم الدرجة الأولى في الطائرات أو المقصورة الخاصة في عربات قطارات الركاب. وفي الواقع، فإن أحد المزايا الجذّابة للسيارات هو الخصوصية التي توفرها لمستخدمها.

وتشمل تسهيلات الراحة في الرحلات الطويلة، عادة، توافر الطعام والشراب ووجود دورات مياه نظيفة وطاقم من المضيفين والملاحين لخدمة الركاب وزخرفة داخلية جميلة وخدمات الهاتف والتلفزيون والمذياع. وكقاعدة عامة، فإن درجة الراحة وتسهيلاتها المتوافرة تتفاوت مع طول الرحلة، فالخدمات في الرحلات القصيرة محدودة، في حين قد تكون مريحة جداً في الرحلات الطويلة المدى.

ضياع السلع أو تلفها خلال الشحن Freight Loss and Damage. تتطلب حماية البضائع من التلف والأضرار الناتجة عن الارتجاجات والصدمات خلال شحنها اهتماماً بنظام التعليق للمركبة مشابهاً للاهتمام في نقل الركاب. ويجب إحكام ربط البضائع وتغليفها ثم رصّها جيداً وتخزينها داخل المركبة أو الطائرة لمنع تحركها وإزاحتها خلال الرحلة. وعلى سبيل المثال، يمكن أن تؤدي الحركة الرأسية المتكررة والزائدة إلى اهتزاز الفواكه المغلفة جيداً لدرجة تأثر محتوى الفاكهة الداخلي، وتصبح طرية كما لو سبق تجميدها. والمركبات المفردة أقل حساسية لتلك التأثيرات، فمثلاً، تنقل، عادة، البضائع المنزلية بالشاحنات دون تغليف يذكر. أما القطارات فلها سلسلة متتابعة من الفراغات بين العربات مما يؤدي إلى حركتها المتتابعة إلى الأمام وإلى الخلف، باستثناء القطارات الحديثة لأنظمة النقل العام السريع، حيث يوجد محرك في كل عربة من أجل أن تبدأ جميع العربات بالحركة في الوقت نفسه وهي موصولة مع بعضها بإحكام.

وتتطلب بعض السلع، أيضاً، الحماية من التلف والتعفن خلال الرحلة، وذلك بالتحكم بدرجة الحرارة، فاللحوم والخضراوات والفواكه الطازجة والأطعمة المجمدة يمكن أن تتطلب تهوية أو تبريداً أو تجميداً. ويمكن

تلبية هذه الحاجات باستخدام السفن أو الحاويات أو عربات القطار المزودة بأجهزة تبريد ميكانيكية. وقد تنشأ الحاجة للتدفئة عند تدني درجة الحرارة. وعند نقل الحيوانات الأليفة والمواشي، يجب الحرص على نقلها إلى مقصدها بأسرع وقت ممكن مع توفير الطعام والماء وأماكن الراحة لها خلال الرحلة.

ويجب حماية السلع المنقولة من الاختلاس أو السرقة دائماً، وتعتمد فرص السرقة على درجة انكشاف الشحنات وتكرار مناولتها من مكان لآخر. فالحاوية أو المقطورة يمكن تعبئتها ثم إقفالها وإرسالها إلى مقصدها النهائي، ولكن، عندما تكون هناك حاجة لفتح الحاوية ونقل محتوياتها إلى مركبة أخرى فعند ذلك ستتضاعف فرص سرقتها أو كسرها أو تغيير وجهتها، ومن ثم فقدها.[١٠]

الآثــــــار البيئيــــــة
ENVIRONMENTAL EFFECTS

لقد برزت مشكلة تأثير النقل على البيئة في الستينيات من القرن العشرين الميلادي جزءاً من مشكلات وطنية أكبر أخذت وقتاً طويلاً في النمو، وتتعلق بصحة البيئة وسلامتها. ولعمليات النقل، عموماً، تأثير ضار بالبيئة من خلال إفراز ملوثات الهواء والماء والضجيج، والإهتزازات، والتأثير على الأراضي، والمظهر المرئي والبصري، وكذلك من خلال تحطيم قيم المجتمع. وتختلف درجة مساهمة وسائل النقل المختلفة في التلوث. ويؤدي قلق الحكومات من هذه المشكلة إلى إنشاء إدارة حكومية خاصة بحماية البيئة تضع القواعد والمواصفات التي تساعد على التحكم بالتلوث بمختلف أنواعه.

تلوث الهواء Air Pollution. تمثل الإفرازات التي تنبعث من عوادم المحركات الأساسية للمركبات المصدر الرئيس لتلوث الهواء بسبب النقل. وتخرج هذه الإفرازات على شكل هيدروكربونات (أول وثاني أكسيد الكربون)، وأكاسيد النتروجين، ومركبات الكبريت، والألديهيدات (Aldehydes) ومواد الهباء. فأول أكسيد الكربون (CO) غاز سام، والتعرض المستمر له عند مستويات التركيز الموجودة في المدن يمكن أن يتسبب مؤقتاً في إعاقة عقلية أو عضوية. أما ثاني أكسيد الكربون (CO_2) فيمكن أن يتفاعل مع أكاسيد النيتروجين تحت أشعة الشمس لينتج عنها مواد سامة تسمى «المؤكسدات» التي يمكن أن تتسبب في تهيج العيون وتساهم في أمراض الجهاز التنفسي خصوصاً عند الأطفال وتخلف مشاكل الحساسية. كما يمكن، أيضاً، أن يتغير أداء النظام البيولوجي للحياة بسبب الأثر التدميري لهذه السموم على النباتات، خصوصاً من خلال تكوّن سحب الدخان الضبابي الكيميائية الضوئية.[١١] ويعاني سائقو سيارات الأجرة وجود ترسبات عالية من الرصاص في مجاري الدم داخل أجسامهم، ويتعرض

---

(١٠) لقد ساعد استخدام الحاويات على تقليل السرقات في الموانئ، ولكن بعض الموانئ ذكرت أن حاويات بأكملها قد تعرضت للسرقة.

(١١) John T. Middle, Acting Commissioner of Air Pollution Control Office, "Planning Against Air Pollution", *American Scientist*, Vol. 59, No. 2, March-Arpril 1971, pp. 188-194.

غيرهم من الناس لتركيزات غازات العوادم داخل المدن . وتظهر أعراض التسمم بالرصاص عندما يصل التركيز إلى ٦٠ ميكروغرام من الرصاص لكل ١٠٠ غرام من الدم . وتتراوح نسبة تركيز الرصاص في دماء سكان المدن بين ١٠ و ٣٠ ميكروغراماً لكل ١٠٠ غرام من الدم .[١٢]

ويمكن أن تظهر أعراض تهيّج العين بسبب «المؤكسدات» عند درجات تركيز تتراوح بين ٢٠٠ و ٦٠٠ مايكروغراماً لكل متر مكعب (٠,٠٥ إلى ٠,٣٠ جزء في المليون) . وترتبط رائحة الغازات المنبعثة لوقود الديزل وخصائصها المهيجة بدرجة تركيز الألديهيدات . ويمكن تمييز تلك الرائحة عند وصول تركيزها إلى نحو ٠,٢ أو ٠,٣ جزء في المليون من حيث الحجم ، وعند وصول التركيز إلى جزء واحد في المليون ، يبدأ عندها ، تهيج الجيوب الأنفية والعين . وبالإضافة للآثار الصحية الضارة لغازات عوادم الديزل ، فإنها تنشر أيضاً هباباً أسود يلطخ المناطق المحيطة .

وتعد السيارة مصدراً رئيساً لنحو نصف تلوث الهواء في المناطق الحضرية . ففي الولايات المتحدة الأمريكية ، مثلاً ، تساهم السيارات بأكثر من نصف التلوث بالهيدروكربونات ، ونحو نصف التلوث بأكاسيد النيتروجين ، وثلثي أول أكسيد الكربون الذي ينبعث في كل عام .[١٣] ويعطي الجدول (٦ , ٩) كميات الملوثات المنبعثة من وسائل النقل المختلفة . ويشير مصدر الجدول نفسه إلى أن وسائل النقل في الولايات المتحدة تساهم بـ ١٦,٧٪ من تلوث الهواء الكلي فيها . ويؤدي تركز السيارات في المناطق الحضرية إلى إيجاد مشكلة التلوث التي تضر أعداداً كبيرة من سكان المدن . وتساهم شاحنات الديزل وحافلاته بجزء ملحوظ من التلوث ، ولكن عددها أقل بكثير من عدد السيارات . وتفرز القاطرات وزوارق القطر التي تعمل بالديزل غازات وملوثات ، أيضاً ، ولكن بكميات أقل من المركبات التي تسير على الطرق وعادة ما تكون في مناطق خلوية . ويذكر أن قاطرات السكك الحديدية تلوث الجو بما يعادل ثلث إلى سدس مقدار التلوث الذي تفرزه مركبات النقل على الطرق لكل طن- ميل من البضاعة .[١٤] وذلك يعود إلى أن استهلاكها للوقود أقل ، ومقاومتها الدفعية أقل ، واحتراق الوقود داخل محركاتها أكمل منه في مركبات الطرق . وتجدر الإشارة إلى أنه قد يكون من المجدي اعتبار إمكانية تقليل تلوث الهواء عن طريق زيادة الاعتماد على النقل بالمقطورات التي تحمل فوق عربات السكك الحديدية المسطحة ، والتي تجمع بين اقتصادية تشغيلها للمسافات الطويلة ، والانخفاض النسبي لمعدل التلوث المنبعث من النقل بالسكك الحديدية ، وكذلك للمرونة في نقلها بالشاحنات من المحطات وإليها .

وفي محاولة للحد من تلوث البيئة بسبب عوادم المركبات أصدرت الحكومة الاتحادية الأمريكية قانون الهواء النظيف في عام ١٩٦٣م ، وجرى تعديله في عامي ١٩٦٧م و ١٩٧٠م ، وقد أدى إلى وضع قواعد تتطلب إلغاء الإفرازات الهيدروكربونية من عوادم السيارات الجديدة منذ عام ١٩٦٨م ، وتنادي بتقليل أول أكسيد الكربون

(١٢) المرجع السابق نفسه.
(١٣) المرجع السابق نفسه.
(١٤) Illinois Central Gulf News, November 1973, pp. 8-11.

الجدول (٩،٦): إفرازات تلوث الهواء من مختلف وسائل النقل[أ]

وسيلة النقل	أول أكسيد الكربون		الأجسام الصلبة		أكاسيد الكبريت		هيدروكربونات		أكاسيد النيتروجين	
	ملايين الأطنان	النسبة المئوية	ملايين الأطنان	النسبة المئوية	ملايين الأطنان	النسبة المئوية	ملايين الأطنان	النسبة المئوية	ملايين الأطنان	النسبة المئوية
مركبات آلية تعمل بالبنزين	٩٦,٨	٨,٨	٠,٣	٣٧,٥	٠,٢	١٨,٢	١٦,٩	٨٥,٤	٧,٦	٧٦,٩
مركبات آلية تعمل بالديزل	١,٠	٠,٩	٠,١	١٢,٥	٠,١	٩,١	٠,٢	١,٠	١,١	٩,٨
الطائرات (مجموع الإفرازات)	٢,٩	٢,٦	٠,١	١٢,٥	٠,١	٩,١	٠,٤	٢,٠	٠,٤	٣,٤
السكك الحديدية	٠,١	٠,١	٠,١	١٢,٥	٠,٢	١٨,٢	٠,١	٠,٥	٠,١	٠,٩
السفن	١,٧	١,٥	٠,١	١٢,٥	٠,٣	٢٧,٢	٠,٣	١,٥	٠,٢	١,٨
وقود المحركات للحركة خارج الطرق	٩,٠	٨,١	٠,١	١٢,٥	٠,٢	١٨,٢	١,٩	٩,٦	١,٨	١٦,٢
الإجمالي لجميع المصادر	١١١,٥	١٠٠,٠	٠,٨	١٠٠,٠	١,١	١٠٠,٠	١٩,٨	١٠٠,٠	١١,٢	١٠٠,٠

(أ) مبني على تقرير النقل الوطني لعام ١٩٧٢م الصادر من مكتب وكيل وزارة النقل الأمريكية لشؤون سياسة النقل، واشنطن العاصمة، يوليو ١٩٧٢م، ص٦٧.

والمواد الهيدروكربونية التي تنبعث من السيارات المصنعة ابتداءً من ١٩٧٥م بنسبة تقل ٩٠٪ عن سيارات ١٩٧٠م، وتخفيض إفرازات أكاسيد النيتروجين بنسبة ٩٠٪ من تللك الخاصة بسيارات ١٩٧١م.

وتتوافر، حالياً، إجراءات وأجهزة لتقليل أضرار إفرازات عوادم السيارات وتحويلها إلى غازات غير ضارة، كما أن البحث والتطوير مستمر في هذا الاتجاه. ويمكن تحقيق كثير من النتائج في تقليل الإفرازات الضارة ببساطة عن طريق المحافظة على حالة المحرك الجيدة بالصيانة الدورية لضمان الاحتراق الكامل للوقود. كما يجري، حالياً، استخدام جهاز يُركّب على أنابيب العادم يحتوي على مواد كيميائية تؤكسد أول أكسيد الكربون. ويمكن، بذلك، تخفيض غاز أول أكسيد الكربون بنسبة ٦٠٪ والإفرازات الهيدروكربونية الأخرى بنسبة ٨٠٪ .

وهناك وسيلة أخرى لتقليل تلوث الهواء من عوادم السيارات تتلخص في تسليط لهب مباشر على غازات أول وثاني أكسيد الكربون، والتي تنبعث من المحرك قبل خروجها من العادم، وذلك عن طريق مصدر حراري مثل شمعات الاحتراق أو ناقل الحرارة (مع استخدام وقود إضافي أو بدونه)، ويتم الاحتراق في كاتم الصوت في نظام العادم.

ويجب أن تتميز وسائل الحد من التلوث، أياً كانت، بقدرتها على المحافظة على أدائها وتحقيق الاحتراق تحت ظروف القيادة كافة. وتحد التكلفة العالية لهذه الأجهزة من استعمالها على نطاق واسع، وكذلك الحاجة لصيانتها وإبقائها مع باقي أجزاء المحرك بحالة جيدة. ويساعد التقليل من نسبة الرصاص في البنزين على تقليل التلوث به.

ويمكن أن يؤدي استخدام وقود الكيروسين في الطائرات النفاثة إلى خروج إفرازات من الأجزاء غير المحترقة منه على شكل دخان أسود. وتفرز الطائرة النفاثة ذات المحركات الأربعة عدة كيلوغرامات من الملوثات خلال عملية الإقلاع الواحدة. ورائحة الكيروسين المميزة منتشرة في جميع المطارات الضخمة التي تستقبل الطائرات النفاثة، وهذه الأبخرة مضرة لكل من العيون والجيوب الأنفية. ويأخذ التصميم الجيد للمطارات هذه الأمور بعين الاعتبار حيث تعزل صالات المسافرين المجاورة لساحات الطائرات، وتبعد مداخل هؤاء التكييف عن ساحات الطائرات. كما تتأثر الرؤية، أيضاً، بتراكم سحب الدخان الضبابية، مما يزيد الاعتماد على الهبوط باستخدام الأجهزة الإلكترونية، كما في مطار لوس أنجلوس المدينة المشهورة بتلوث هوائها، والذي يحتل المركز الأول في عمليات الهبوط الآلية في أمريكا. ولا يوجد حتى الآن حلول عملية للإفرازات السامة من أكاسيد النيتروجين.

وهناك مصادر أخرى ثانوية لتلوث الهواء بسبب النقل، وتشمل غبار الحديد الناتج من بري القضيب الحديدي بفعل نعل المكبح، والشرر المنبعث من القاطرات وزوارق القطر، والأدخنة المنبعثة من وحدات التبريد الميكانيكية المتنقلة، والأدخنة والغازات التي تنبعث عند إنقلاب المقطورات، أو خروج القطار عن السكة وغيرها. كما تنتشر الأغبرة عند تعبئة المواد الحبيبية السائبة وتفريغها وتحويلها وتخزينها مثل الفحم والخامات والحبوب والأسمدة والركام أو الحصى. كذلك تساهم عمليات تبخر الوقود وتسربه من صهاريج نقله وتبخر البنزين من محرك السيارة بعد إغلاقه مباشرة عندما يكون حاراً، في تلوث الهواء، كما تنبعث الملوثات من محطات الطاقة التي تزود قطارات النقل العام السريع والسكك الكهربائية بالطاقة الكهربائية، ولكن يمكن إنشاء هذه المحطات بعيداً عن المراكز السكانية المكتظة.

تلوث المياه Water Pollution. لا يساهم النقل البري كثيراً في التلوث المباشر للمياه، فالمخلفات الخارجة من ورش السيارات والقاطرات ومرافق صيانتها، مثل زيوت التشحيم المستهلكة وتسربات الوقود وإفرازات المحرك السائلة، يجب معالجتها قبل إلقائها في مجاري الصرف الصحي العامة أو في المجاري المائية. وكذلك الحال في المخلفات الناتجة عن محطات غسل القاطرات والحافلات ومعدات الطائرات. ويجب استخدام صهاريج جمع الفضلات البشرية في القطارات والسفن، كما هو مستعمل حالياً في دورات مياه الطائرات والحافلات، وذلك لتلافي إلقائها على السكة أو في المياه. وابتداء من عام ١٩٨٠ م، أصبح من اللازم معالجة مياه الصرف الصحي قبل رميها في البحر.

وتبرز مشكلة تسرب الزيت من سفن نقل الزيت عند تنظيف صهاريجها، أو بسبب تشققها أو اصطدامها. وتمنع القوانين البحرية إفراغ الترسبات والمخلفات النفطية من سفن صهاريج نقل النفط في المياه الإقليمية، ويواجه أصحاب تلك السفن تحمل مسؤولية تنظيف المياه الملوثة من تسربات الزيت. ولاتزال مشكلة صرف مياه صهاريج الصابورة في السفن الملوثة مشكلة قائمة، وقد تلوثت بعض مصادر المياه المحلية والمياه الجوفية بتسربات الزيت والكيميائيات من المقطورات وعربات القطارات المنقلبة بسبب تعرضها لحوادث اصطدام.

الضوضاء Noise . تعد الضوضاء إحدى النتائج المؤذية التي تصاحب عمليات النقل بانتظام. وتتداخل الضوضاء مع الأصوات الأخرى وتحجب سماع الأصوات المرغوب في سماعها. وتتغير شدة الضوضاء ومدة استمرارها مع الأنواع المختلفة لوسائل النقل. ويمكن أن تتسبب الأصوات المرتفعة جداً بأضرار عضوية للجسم البشري، أي تتسبب في أضرار للأعضاء السمعية في الأذن. والتعرض لفترات طويلة لمستويات ضجيج أقل يمكن أن ينتج عنها تغيرفي تركيب الخلايا البشرية الحية.

وعادة ما تقاس الضوضاء بوحدة الديسبل، والديسبل الواحد هو أقل مستوى للصوت المحسوس. ويعرف الديسبل بأنه شدة تركيز الصوت التي تحدث صدمة قدرها ٠٫٠٠٠٢ داين/ سم٢. والتعرض لصوت شدته ٨٥ ديسبلاً أو أكثر لفترة ٨ ساعات يمكن أن يكون ضاراً، والأصوات الشائعة في النشاطات اليومية تصل شدتها إلى ٧٠ ديسبلاً. ويتراوح مدى شدة الصوت العادي في المكاتب بين ٥٥ و ٦٠ ديسبلا، في حين تصل شدته في شوارع المدن المكتظة إلى ٩٥ ديسبلاً. ويعطي الجدول (٧٫٩) القيم المقبولة عموماً لوسائل النقل المختلفة.

وكثيراً ما يعبر عن قيم شدة الضوضاء بوحدات ديسبل-A التي تمثل مستويات الضوضاء الوزنية المقابلة للقيم المتوسطة المحسوبة على بعد ٥٠ قدماً (١٥٫٢ متر) من المركبة التي تُشغّل تحت ظروف طبيعية بسرعة نموذجية. وبالنسبة للطائرات، فإن القياس يتم على بعد ١٠٠٠ قدم (٣٠٥ أمتار) من مسار الهبوط.

والقيمة العالية لمستوى الضوضاء للطائرات النفاثة التي تصل إلى نحو ١٦٠ ديسبلاً-A، هي قيمة متوقعة وواضحة. وهذا هو أحد الأسباب وراء إبعاد المطارات عن المناطق السكنية والمستشفيات والمدارس. وتولد قاطرات الديزل والشاحنات تقريباً مستوى الضوضاء نفسه الذي يصل إلى ٨٠ ديسبلاً-A . وربما يكون الصوت المنبعث من حركة الإطارات المطاطية فوق الرصفيات أكثر إزعاجاً من صوت المحركات. ويجب ملاحظة أن القطارات تمر على فترات متقطعة، فقط، في حين تكون حركة الشاحنات على طريق شاحنات رئيسي حركة مستمرة بدون انقطاع. والسفن هي أكثر الناقلات السطحية هدوءاً، أما خطوط الأنابيب فهي عديمة الضوضاء باستثناء الأصوات

التي تسمع عند محطات الضخ المتباعدة. ويصدر عن مانعات الحركة المستعملة للتحكم في سرعات العربات في ساحات السكك الحديدية صرير حاد عند ضغط المكابح على جوانب عجلات العربة الحديدية. ولتقليل أثر الضوضاء، توضع حواجز لامتصاص الصوت حول تلك الساحات مثل الحواجز الترابية المرتفعة أو السياج المبطن بمواد تمتص الصوت. كما تستعمل حواجز مشابهة بمحاذاة الطرق التي تمر عبر المناطق السكانية. ومدينة طوكيو مشهورة بالاستخدام المكثف لهذه الحواجز.

الجدول (٩,٧): مستويات الصوت الناتج عن وسائل النقل.(أ)

محادثة طبيعية	٥٤	إلى	٦٠ ديسبلاً
المستوى الذي تصبح عنده المحادثة الهاتفية مستحيلة	٨٠ ديسبلا		
شوارع المدن المزدحمة	٩٠	إلى	٩٥ ديسبلاً
السيارات الخاصة ٤٠-٧٠ ميلاً / ساعة	٦٥	إلى	٧٠ ديسبلاً – A
شاحنات الديزل الثقيلة: ٥٠-٦٠ ميلاً / ساعة	٧٥	إلى	٨٥ ديسبلاً – A
قطارات حديدية بين المدن	٧٠	إلى	٨٠ ديسبلاً – A
قطارات النقل العام السريع داخل المدن	٨٥	إلى	٩٥ ديسبلاً – A
الطائرات الخاصة	٧٥	إلى	٩٥ ديسبلاً – A
الطائرات النفاثة	١٠٠	إلى	١٦٠ ديسبلاً – A
الحافلات الآلية	٧٠	إلى	٨٥ ديسبلاً – A
الزوارق الآلية	٧٥	إلى	٨٠ ديسبلاً – A
السفن	٥٥	إلى	٦٨ ديسبلاً – A
الدراجات النارية	٨٥	إلى	٩٥ ديسبلاً – A

(أ) مبني، جزئيا، على المرجع:
Transportation Noise and Noise from Equipment Powered by the Internal Combustion Engines, Table B–1, p. B–3, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 31 December 1971.

وتنقسم مشاكل الضوضاء إلى نوعين أحدهما الضوضاء الداخلية التي تؤثر على الموظفين والركاب، والآخر هو الضوضاء الخارجية التي تؤثر على المناطق المجاورة. ويمكن معالجة مشاكل الضوضاء الداخلية عن طريق العزل الصوتي المناسب للمباني والمركبات. ويجب على موظفي المطارات الذين يتطلب عملهم وجودهم بالقرب من الطائرات أن يضعوا أغطية مناسبة على آذانهم لتفادي تعرض قدراتهم السمعية للضرر. أما توفير الحماية من الضوضاء الخارجية فهو أكثر صعوبة، وهي تشمل كتم الصوت في محركات المركبات، واعتبار تغيير مواقع العمليات وجداولها الزمنية، واستعمال حواجز عازلة للصوت في بعض المناطق.

الطاقة Energy. أضاف اعتراف العامة المتأخر بمحدودية مصادر الطاقة المألوفة بعداً آخراً لمشاكل النقل. وحتى تكتشف أو تخترع مصادر بديلة اقتصادية للطاقة يجب الاقتصاد في استخدام الوقود المتوافر حاليًا، وتوفير طرق

لترشيد استهلاكه . وتصبح المفاضلة بين وسائل النقل المختلفة لنقل حجم معين من المنقولات مبنية على مدى التوفير النسبي في استهلاكها للوقود.

وقد سبق أن ناقشنا موضوع الكفاءة الحرارية في الفصل الخامس، كما أن نسبة القدرة الحصانية لكل طن صاف من الحمولة ونسبة الوزن الفارغ إلى الحمولة تعدان عاملين مؤثرين في الاقتصاد في استهلاك الوقود، أيضاً. وهذه، بدورها، مرتبطة بوحدة مقاومة الدفع لكل وسيلة نقل معينة. والسؤال الذي يطرح نفسه هو : ما مقدار الوقود المستهلك لكل نوع من وسائل النقل؟ أو بصيغة أخرى : ما أنواع وسائل النقل التي يجب تشجيعها للمحافظة على مصادر الطاقة الوطنية؟

وقد حسب المؤلف القيم الموضحة في الجدول (٨ , ٩) والمبنية بشكل كبير على الكميات النظرية لاستهلاك الوقود، وهي خواص تقنية ذاتية متأصلة في وسائل النقل المختلفة، تحسب عن طريق ربط العلاقة بين حاصل قسمة الشغل المبذول بوساطة قوة الدفع على مقاومة الدفع والشغل الذي تبذله وحدة واحدة من الوحدات الحرارية البريطانية مقاساً بالرطل– قدم (والذي يساوي ٧٧٨ رطلاً - قدم) ثم ربط الناتج بمحتويات جالون زيت الوقود من الوحدات الحرارية البريطانية (حوالي ١٣٠٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية)، و بالكفاءة الحرارية والميكانيكية للمحركات الأساسية (نحو ٢٥ ٪ لمحركات الاحتراق الداخلي). وبهذه الطريقة فإن المؤلف لم يأخذ في الاعتبار كمية الوقود المفقودة بسبب كل من المخلفات أو التبخير أو سوء صيانة المحرك وتشغيله أو تأثير الميول أو تأثير تعرج الطريق ومنحنياته ونوع سطحه أو السرعة أو التسارع أو تشغيل المحرك والمركبة متوقفة أو بسبب التفاوت في محتوى الطاقة لأنواع الوقود المختلفة. وهذه الاعتبارات تفسر الفروق بين قيم المؤلف النظرية والقيم المبينة في الجدول (٩ , ٩). وعلى أي حال، فإن بيانات المؤلف مفيدة كمقياس للفروق النسبية بين استهلاك الوقود لوسائل النقل المختلفة.

الجدول (٩,٨): القيم النظرية لاستهلاك الوقود لكل طن–ميل (علي طريق مستوٍ؛ الجالون يحتوي على ١٣٠٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية)

وسيلة النقل	السرعة (ميل/ساعة)	وحدة المقاومة (رطل)	جالون لكل طن–ميل	طن إجمالي–ميل لكل جالون	طن صاف–ميل لكل جالون[د]
السكك الحديدية[أ]	٥٥	٨	٠,٠٠٢٠	٥٠٠	٣٧٥
شاحنة مزدوجة (جرار ومقطورة)[أ]	٥٥	٥٦	٠,٠٠٤٣	٧٠	٥٠
مقطورات نهرية[ب]	٨	٣	٠,٠٠١٢	٨٠٦	٦٩٠
النقل السائب في البحيرات العظمى[ب]	١٠	٢	٠,٠٠٠٨	١,٢٥٠	٨٣٣
الطائرات[جـ]	٣٠٠	٢٤٠	٠,٠٧١٦	١٤	٤,٤

(أ) شاملا معامل كفاءة ميكانيكية قدره ٨٢٪، ومعامل كفاءة حرارية قدره ٢٥٪.
(ب) شاملا معامل كفاءة ميكانيكية للرفاص قدره ٥٠٪، ومعامل كفاءة حرارية قدره ٢٥٪.
(جـ) شاملا معامل كفاءة ميكانيكية للرفاص قدره ٧٠٪، ومعامل كفاءة حرارية قدره ٢٥٪.
(د) محسوب على أساس نسب الحمولة المتوسطة إلى الوزن الفارغ المبينة في الجدول (٣, ٥).

الجدول (٩,٩): كفاءة استهلاك الطاقة لوسائل النقل المختلفة.(أ)

وسيلة النقل	البضائع			الركاب		
	طن–ميل لكل جالون	وحدة حرارية بريطانية لكل طن–ميل	جول لكل كلغ/كم	راكب–ميل لكل جالون	وحدة حرارية بريطانية لكل طن–ميل	جول لكل كلغ/كم
خطوط الأنابيب	٣٠٠	٤٥٠	٣٣٠			
النقل المائي	٣٥٠	٥٤٠	٣٩٠			
الحافلات				١٢٥	١٠٠٠	٧١٠
السكك الحديدية	٢٠٠	٦٨٠	٤٩٠	٨٠	١٧٠٠	١١٠٠
الشاحنات والسيارات	٥٨	٢٣٠٠	١٧٠٠	٣٢	٤٢٥٠	٢٨٠٠
الطائرات	٣,٧	٣٧٠٠٠	٢٧٠٠٠	١٤	٣٧٠٠	٦٤٠٠

على فرض أن هناك ١٣٦٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية لكل جالون

(أ) Eric Hirst, "Energy–Intensiveness of Transportation," Transportation Engineering Journal, Procedings of the American Society of Civil Engineering, February 1973, pp. 111–122 (especially p. 122).

وتوضح هذه البيانات أن الترتيب التنازلي وسائل النقل المختلفة حسب استهلاكها هو كالتالي : النقل المائي، ثم خطوط الأنابيب، ثم السكك الحديدية ثم الطرق، وأخيراً النقل الجوي الذي يمثل أكثر وسائل النقل استهلاكا نسبيا للوقود.

ويحتوي الجدول(٩ , ٩) على الاستهلاك النسبي للطاقة (الوقود) لوسائل النقل الشائعة الاستخدام. وتتفاوت هذه القيم كثيراً حسب طريقة الحساب وعدد العوامل المأخوذة في الاعتبار التي تؤثر على الاستهلاك. وكثيراً ما يستشهد بالبيانات المبنية على أساس الاستهلاك الوطني الإجمالي للوقود حسب كل نوع من وسائل النقل، ثم تنسب إلى تقديرات عدد الراكب– ميل أو عدد الطن إيرادي– ميل، أو تنسب إلى عوامل التحميل المقبولة، عادة، لكل وسيلة نقل. وعند إجراء المقارنات بين استهلاك وسائل النقل المختلفة للوقود يجب اعتبار عامل اعوجاج المسار مقابل المسار المباشر.

ويمكن الاستشهاد بالجدول التالي الذي عرضه رئيس شركة سكة حديد بنسلفانيا الأمريكية في شهادته أمام اللجنة الفرعية للنقل السطحي في مجلس النواب الأمريكي، والذي يحتوي على مقارنة لكمية الوقود اللازم لنقل ١٠٠٠٠٠ طن (٩٠٧٠٠ طن متري) من البضاعة من مدينة نيويورك على الشاطئ الشرقي إلى مدينة سان فرانسيسكو على الشاطئ الغربي للولايات المتحدة.(١٥) ويتضح من هذا الجدول تأثير الاعوجاج في مسار النقل.

(١٥) James M. Symes, "The next War; We could lose it on the Rails," Railway Progress, March 1958, p. 7, Federation for Railway Progress, Washington, D.C.

الوقود	السكة الحديدية	الطرق	النقل المائى	النقل الجوى
بالجالون	٨٣٢٣٠٠	٣٣٦٦٣٠٠	٤٣٤٦١٠٠	٢١٨٠١٢٠٠
نسبة للسكة الحديدية	١,٠	٤,٠	٥,٢	٢٥,٠

ويمكن بروز سؤال عن مقدار المسافة التي يمكن تحريك حمولة معينة عبرها باستخدام كمية وقود تعادل قيمتها دولاراً أمريكياً واحداً.[١٦]، وقد أعطيت الإجابات التالية عن السؤال عند تحريك حمولة قدرها ٤٠ طنًا:[١٧]

عربة قطار شحن وزنها الإجمالي ٤٠ طناً	١٥١ ميلاً (٢٤٣ كم)
عربة قطار ركاب وزنها الإجمالي ٤٠ طناً	١١٦ ميل (١٨٧ كم)
شاحنتان وزن كل منهما ٢٠ طناً	١١,٩ ميل (١٩ كم)
عشرون سيارة وزن كل منها طنان	٢,٩ ميل (٤,٧ كم)
طائرة بأربع محركات وزنها ٤٠ طنًا	٣,١ ميل (٥,٠ كم)

ويبين الجدول (١٠ , ٩) قيماً أحدث نسبيًا للاستهلاك النسبي للوقود لمختلف وسائل النقل في الولايات المتحدة الأمريكية .

استخـدام الأرض Land Use. يعد مقدار الأرض المخصصة لاستعمالات النقل عاملاً رئيساً لكل من قيم المجتمع وتأثيرات النقل على البيئة .

إن ندرة الأراضي، خصوصاً داخل المناطق الحضرية وحولها، وارتفاع أسعارها، يطرحان سؤالاً حول الحاجة النسبية لوسائل النقل المختلفة من الأراضي . وعندما تتعهد الحكومة بتوفير الأراضي لوسائل نقل معينة، كما في الطرق والممرات المائية الممهدة، فإن الخسارة لا تنطوي على قيمة الأراضي الشاسعة، فقط، بل إنها تحرم الحكومة، أيضاً، من عوائد الضرائب التي كانت ستجنيها من تلك الأراضي مما يسبب قلقاً كبيراً لدى المجتمعات المحلية وأجهزة تحصيل الضرائب .

وتتركز حاجة معظم أنظمة النقل من الأراضي في تلك المخصصة لحرم الطريق . حيث تحتاج كل من السكك الحديدية والعربات الهوائية المعلقة والطرق وغيرها من وسائل النقل شريحة من الأرض يتراوح عرضها بين ٣٠ و ٢٠٠ قدم أو أكثر (٩,١ إلى ٦١,٠ متراً)، وتمتد من المحطة الابتدائية إلى المحطة النهائية . وقد تنشأ الحاجة إلى

---

(١٦) عند مستوى أسعار الوقود في عام ١٩٥٧ م .

(١٧) A Ten-year Projection of Railroad Growth Potential, Prepared by Transportation Facts, Inc., For the Railway Progress Institute, Chicage, Illinois, 1957, Table 8 .

حرم طريق أعرض إذا كان مسار الطريق يحتوي على قطع عميق في الجبال أو التلال، أو على ردميات، وذلك لاستيعاب الطريق ومنشآت تصريف المياه الخاصة به. والحد الأدنى لعرض حرم الطريق المستوي هو [$W = b + 2sd$] حيث إن (b) هو عرض القاعدة الترابية للطريق، و (S) = معدل الميول الجانبية، و (d) هو عمق القطع أو الردم. ويفضل أن يُضاف عرض كاف لمجاري تصريف السيول الجانبية والمعترضة. أما بالنسبة للقنوات، فإن (b) هي عرض قاعدة مجرى القناة.

الجدول (٩,١٠): استهلاك الطاقة لوسائل النقل المختلفة في الولايات المتحدة الأمركية.(أ)

وسيلة النقل	كمية الطاقة (بالمائة) ١٩٥٠م	١٩٦٠م	١٩٧٠م
١ - السيارات	٣٨,٠	٥١,٤	٥٤,٢
٢ - الشاحنات	١٦,٦	١٩,٨	٢١,١
٣ - السكك الحديدية	٢٥,٢	٤,٩	٣,٣
٤ - الطائرات	١,٧	٧,٥	١٠,٨
٥ - الحافلات	١,١	١,٠	٠,٨
٦ - النقل العام داخل المدن (لا يشمل الحافلات)	١,٠	٠,٣	٠,٢
٧ - النقل المائي للبضائع	٣,٦	٢,٨	٢,٥
٨ - خطوط الأنابيب	٠,٧	٠,٩	١,٢
٩ - وسائل أخرى	١٢,١	١١,٤	٥,٩
	١٠٠,٠	١٠٠,٠	١٠٠,٠
إجمالي استهلاك النقل للطاقة (مئة مليون وحدة حرارية بريطانية)	٨,٧	١٠,٩	١٦,٥

(أ) Draft Environmental Impact Statement Pool 22, Upper Mississippi River 9-foot Navigation Channel, U.S. Army Corps of Engineers, Rock Island District, Rock Island, Illinois.

ويبين الجدول (٩,١١) القيم النمطية للأراضي المطلوبة لحرم الطريق ذي المسار المستقيم لوسائل النقل المختلفة. ويمكن الحصول على كفاءة استخدام للأرض عن طريق قسمة سعة المسار على مساحة الأرض، فالناتج يعطي عدد الركاب الممكن نقلهم لكل ميل/ ساعة/ فدان.

الجدول (٩,١١): القيم النمطية لمتطلبات الأراضي كحرم للطريق (عدد الفدانات لكل ميل المخصصة كليا للنقل).

وسيلة النقل	عرض حرم الطريق (بالأقدام)	فدان لكل ميل
السكك الحديدية	٣٠ إلى ١٠٠	٤ إلى ١٢
الطرق	٣٠ إلى ٣٠٠	٤ إلى ٣٦
النقل المائي	١٠٠ إلى ٣٠٠	١٢ إلى ٣٦
النقل الجوي	–	اسميا
خطوط الأنابيب	١ إلى ٦	اسميا
السيور المتحركة	٢٥ إلى ١٠٠	٣ إلى ١٢
العربات المعلقة	٢٥ إلى ١٠٠	اسميا

ملاحظة: يمكن المحافظة على حرم طريق خال من العوائق يتراوح عرضه بين ٥٠ و١٠٠ قدم للعربات الهوائية المعلقة وخطوط الأنابيب، كما في خطوط نقل الطاقة الكهربائية أيضا، وذلك لتسهيل صيانتها والوصول إليها وكذلك لمنع الأشجار العالية من إعاقة العربات أو الأسلاك.

وبالإضافة إلى حرم الطريق هناك حاجة، أيضاً، للأراضي لإنشاء المحطات ومرافق التحويل التي تكون عادة شاسعة المساحة. وقد تتطلب ساحات السكك الحديدية الضخمة إلى أراض بطول يتراوح بين ٢ و ٥ أميال، وبعرض بين ٥ , ٠ وميل واحد. وعند إنشاء قطارات الأنفاق، فإن حركة القطارات بحد ذاتها لا تؤثر على الأراضي السطحية فوقها ولكنها قد تتسبب في إيجاد تزاحم في المنشآت التي تحت سطح الأرض خصوصاً الخدمات العامة، مثل شبكات المياه والصرف الصحي والهاتف وغيرها.

وتحتاج الطرق السريعة الحديثة مساحات إضافية من الأرض عند التقاطعات المنفصلة المستوى (المحولات) وعند نقاط الاستراحة على طولها، وليس مستبعداً أن يحتاج المحول الواحد مساحة تصل إلى ٢٠ فداناً أو أكثر. وتحتاج محطات الشاحنات والحافلات ومواقف السيارات مساحات أقل نسبياً، ولكنها غالباً ما تكون مطلوبة في مراكز المدن المزدحمة حيث تكون الأراضي نادرة وباهظة الثمن.

ولا تتطلب الطرق الجوية سوى مساحات قليلة جداً (اسمية) وذلك لإيضاح معالم الطريق ولمحطات البث اللاسلكية، ولكنها قد تتطلب مابين ١٠ و ٢٠ فداناً للمدارج الصغيرة، وحتى آلاف الفدانات للمدارج الضخمة. فعلى سبيل المثال، يحتل مطار أوهير بشيكاغو مساحة ٦٥٥٤ فداناً، في حين يحتل مطار دالاس فورت وورث حوالي ١٧٠٠٠ فدان، وكلاهما في الولايات المتحدة الأمريكية.

قيم المجتمع Community Values. إن الآثار العديدة لنظام النقل على المجتمع قد شملت جميع جوانبه، وأهم هذه الآثار وأوضحها تلك التي تشمل فوائد القدرة على الحركة وسهولة الوصول، وقد سبقت مناقشتها. واهتمامنا هنا سينصب على الأثر الذي تتعرض له المجتمعات بسبب الوجود الفعلي لأنظمة النقل وتشغيلها ضمن هذه المجتمعات.

وقد بيّنا، قبل قليل، متطلبات استخدام الأراضي لأنظمة النقل المختلفة. ودخول طريق جديد، سواء كان سكة حديدية أو طريقاً سريعاً، إلى منطقة حضرية قد يكون مزعجاً. كما أن وجود طريق قائم داخل المناطق الحضرية قد يكون حائلاً دون تطويرها. وبالنسبة لطريق جديد، فإنه يلزم نزع ملكية الأرض التي يحتاجها وتنظيف حرم الطريق من العوائق أو المباني القائمة، إن وجدت. وخلال هذه العملية، قد يزال أو يهدم عديد من الوحدات السكنية التي كانت مأهولة لعدة سنوات، وقد تهدم محلات تجارية صغيرة ومخازن ومصانع، أو تنقل بعيداً مما ينتج عنه بذلك فقدان عديد من الناس لأعمالهم ووظائفهم. وهذا النوع من الخسائر يمكن تقدير تكلفته المادية. وقد يسبّب شق طريق جديد إلغاء بعض الحدائق العامة وملاعب الأطفال التي تقع في مساره. وقد تزال الأشجار والساحات المفتوحة وتختفي بعض المباني الأثرية التي لها أهمية تاريخية أو فنية. وحتى نكون عادلين في إعطاء الصورة الكاملة، يجب ملاحظة أن مرور الطريق الجديد يمكن أن يقضي على مبان آيلة للسقوط أو مهجورة تستخدم لأغراض غير شريفة، أو تكون مجمعاً للقاذورات والمخلفات.

وإذا كان الطريق الجديد مملوكاً للدولة بوصفه مرفقاً عاماً، كما هو عليه الحال في كثير من الأحيان، فإن أراضي حرم الطريق تصبح عالة على ميزانية المدينة بدلاً من أن تكون مصدراً للدخل، نظراً لتوقف الحكومة عن تحصيل ضرائب عليها. أما الجانب الإيجابي في ذلك فهو ارتفاع أسعار الأراضي المجاورة للطريق وزيادة الضرائب عليها، وكذلك نشوء أعمال تجارية جديدة على جانبي الطريق.

ويمكن أن يشكل جسم الطريق عائقاً للانتقال بين الأحياء التي يخترقها. كما يمكن أن يشوه جمال بعض أجزاء المدينة الجميلة، ويصبح مصدراً للتلوث البصري. ولكن يمكن أن يصبح جذاباً عند الاهتمام بتجميله وتشجيره وتحويل جوانبه إلى شريط ضيق، ولكن طويل، من المسطحات الخضراء.

وخلاصة القول، فإن النقل يعد عصب الحياة في المجتمعات، ولكن هذا لا يبرر إهمال هذه الآثار العكسية وعدم محاولة التخفيف منها. يمكن أن يتيح قدر قليل من التخطيط المسبق فرصة اختيار موقع للطريق يتلافى بعض الآثار العكسية، أو قد يؤدي إلى الخروج بتصميم جذاب يضيف لجمال المدينة بدلاً من أن يعمل على تشويهها. ويجب تطوير موقع الطريق لينسجم مع النسيج العضوي والتركيبة الاجتماعية للمدينة.

أسئلة للدراسة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - اذكر كيف سيكون الأثر على النقل، عموماً، وعلى النقل بالسكك الحديدية خصوصاً، لو جرى استخدام أكثر من مقاس واحد لاتساع سكة الحديد في قارة أمريكا الشمالية.

٢ - يرى مهندسو السيارات ومهندسو الطرق أنه سيأتي يوم يتم فيه إرشاد حركة السيارات والشاحنات على الطرق الرئيسية آلياً عن طريق توصيلها بالحث الكهربائي بسلك مكهرب مغروس في محور كل حارة مرورية على الطريق. ناقش الآثار الكلية لهذه التطورات على مرونة السيارات وسلامتها.

٣ - إلى أي مدى تظهر أهمية تربيط البضائع وتغليفها كعامل تقني اقتصادي في كل وسيلة من وسائل النقل المختلفة؟ استعمل أمثلة محددة للسلع أثناء مناقشتك.

٤ - ما المشكلات المتعلقة بالمرونة التي يجب مراعاتها وحلها عند تصميم قطارات النقل العام السريع ذات الطابقين؟

٥ - ما الصعوبات المتوقعة عند اعتماد نظام لتحويل المقطورات وتبادلها بين خطوط الشحن المختلفة، كما هو مطبق في حالة تبادل العربات وتحويلها بين سكك الحديد المختلفة؟

٦ - ما القوة اللازمة لتسارع قطار تتراوح سرعته بين ٦٠ و ٧٠ ميلاً / ساعة خلال ١٠٠ ثانية، وكم المسافة التي سيقطعها القطار خلال التسارع؟ (اهمل الحل بطريقة الزيادات الصغيرة المتتابعة للسرعة، ولكن اذكر، فقط، كيف يمكن استخدام طريقة الحل هذه لزيادة الدقة).

٧ - كم المسافة التي يمكن أن تقطعها سيارة قبل أن تبدأ بالتباطؤ فعليًا، وذلك عندما يقوم السائق بالضغط المفاجيء على المكبح وهي تسير بسرعة ٦٠ ميلاً / ساعة؟

٨ - فسّر لماذا لا تعد السرعة العملية القصوى معياراً جيداً لتحديد سرعة التدفق المروري لنظام نقل معين.

٩ - ما دور سهولة الإرشاد في تحديد مستوى السلامة لنظام نقل معين؟

١٠- مع افتراض أن نسبة الضريبة على أرض زراعية هي ٣٠ دولاراً أمريكياً لكل فدان، ما الخسارة في مقدار الضرائب التي تجبى عندما تنشيء الحكومة طريقاً عاماً على حرم طريق عرضه ٥٠ قدماً وطوله ٣٠٠ ميل؟

١١- اشرح الصعوبات التي تتعلق بمتطلبات السرعة لنظام نقل عام سريع بالقطارات داخل وسط المدينة ولآخر في الضواحي.

١٢- احسب إنتاجية الأرض المخصصة للنقل بوحدات راكب لكل مساحة لكل ميل لكل ساعة، لكل من وسائل النقل التالية: النقل العام السريع بالقطارات وقطارات الضواحي والحافلات وطائرة بوينج ٧٤٧ والسيارة الخاصة.

١٣- طوّر نظام تقويم تصنيفياً لوسائل النقل المختلفة بحيث يمكن منه تحديد وسيلة النقل التي تعطي أفضل توافق مع متطلبات حماية البيئة في جميع نواحيها. ما الصعوبات التي تبرز عند محاولة القيام بذلك التقويم؟

قراءات مقترحة
SUGGESTED READINGS

1. L. K. Sillcox, *Mastering Momentum,* Simmons-Boardman, New York, 1955, Chapter 1, pp. 1-94.
2. W. W. Hay, *Railroad Engineering,* Vol. I, Wiley, New York, 1953, Chapter 10, pp. 134–150.
3. Frank M. chushman, Transportation for Management, *Service Characteristics of Carriers,* Prentice-Hall, New York, Chapter 3, pp. 41-90.
4. Hermann S. d. Botzow, Jr., *monorails,* Simmons-Boardman, New York, 1960.

5. Hoy A. Richards and G. Sadler Bridges, Traffic Control and Roadway *Elements—Their Relationship to Highway Safety/Revised,* Chapter 1, Railroad Grade Crossings, published by the Automotive Safety Foundation in cooperation with the U.S. Bureau of Public Roads, 1968.
6. W. J. Hedley, "The Achievement of Railroad Grade Crossing Protection", *American Railway Engineering Association,* Proceedings, Volume 50, 1949, pp. 849–864.
7. A. sheffer Lang and Richard M. Soberman, *Urban Rail Transit,* M. I. T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1964.
8. Eric Hirst, "Energy Intensiveness of Transportation", *Transportation Engineering Journal,* Proceedings of the American Society of Civil engineers, February 1973, pp. 111–122.
9. Anthony V. Sebald, "Energy Intensity of Barge and Rail Freight Hauling", Center fo Advanced Computation Technical Memorandum No. 20, May 1974.
10. Edward T. Meyers, "Energy—Are the Railroads on the Right Track?", *Modern Railroads,* August 1973, pp. 41–48.
11. Martin Wohl, "A Methodology for Evaluating Traffic Safety Improvements", papers and discussion of the 1968 Transportation Engineering Conference: *Defining Transportation Requirements,* The American Society of Mechanical Engineers, New York, 1960, pp. 175–182.
12. *"Air Pollution control for Urban Transportation",* eight reports, ISBN 0-309-02199-5, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1973.
13. *"Traffic Accident Analysis",* four reports, ISBN 0-309-02272X, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1974.
14. *Proceedings 1974 National Conference on Railroad-Highway Crossing Safety,* sponsored by U.S. Department of Transportation, 19-22 August, 1974, held at U.S. Air Force Academy.
15. L. A. Hoel, R. L. Lepper, R. B. Anderson, G. R. Thiers, F. DiCeasare, T. E. Parkinson, and Jon Strauss, *Urban Rapid Transit Concepts and Evaluation,* Research Report, Transportation Research Institute, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvanian, 1968.
16. *Energy primer : Transportation Topics,* Office of Research and Development Policy, Transportation Systms Center, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 1975.
17. "Coal Transportation : Unit Trains—Slurry and Pneumatic Pipelines" from CAC Document 163 Final Report, *The Coal Future,* by Michael Rieber, S.L. Soo, and James Stukel, Center for Advanced Computation, University of Illinois, Urbana, Illinois, May 1975.



الفصل العاشر

المحطات
TERMINALS

وظائف المحطات
TERMINAL FUNCTIONS

قد يكون من المنطقي، بعد مناقشة موضوعات الفصول السابقة، أن ندرس، مباشرة، العلاقات بين تقنية النقل وتكاليفه. ولكن إلقاء نظرة سريعة على الجوانب المتعلقة بالمحطات والتحكم بالتشغيل قبل ذلك، سيعطي القارئ فهماً أشمل وأعمق لعلاقات التكاليف.

تعريف المحطات ووظائفها Definition and Function. هناك تعاريف مختلفة للمحطات. والتعريف الضيق للمحطة هو ببساطة بداية الخط أو نهايته في عمليات النقل. ويطلق هذا اللفظ، أيضاً، على منشآت معينة تستخدم لأغراض النقل. والمؤلف هنا يعد المحطات بأنها مجموع المرافق وملحقاتها التي تنشأ فيها رحلات النقل أو تنتهي فيها، أو التي يتم فيها التحويل أو التبديل من مركبة لأخرى سواء قبل تحركها على الطريق أو أثناءه أو بعده، وهي تشمل مرافق الصيانة للمركبات والمعدات التي تقوم بالنقل. وتتحقق هذه الأصناف من المرافق كلها فعلياً عند نهاية خط النقل عادة، ولكن، يتكرر وجودها أيضاً عند نقطة متوسطة أو أكثر على طول الطريق.

وتشمل الوظائف الأخرى للمحطات حجز المنقولات وإعادة شحنها والتخزين والفرز وتجميع المنقولات لزيادة تركيزها والتحميل والتفريغ.

وأهمية المحطات لعمليات النقل مساوية لأهمية خطوط النقل والحركة. وفي الواقع، تفوق مشكلات المحطات أحياناً مشكلات الخطوط في مداها وتعقيداتها. وبالإضافة إلى ذلك، فإن خطوط النقل تفقد أهميتها

عندما لا تتوافر المنقولات المطلوب نقلها. والمحطة هي منبع أو مقصد تلك المنقولات أو، بمعنى آخر، هي النقطة التي تجلب إليها المنقولات، عادة، من المناطق المحيطة بها لتجميعها قبل نقلها على الطريق أو لتوزيعها على المناطق المحيطة بعد وصولها من رحلتها على الطريق.

ومن زاوية الزمن وحده، فإن أهمية المحطات تفوق أهمية خط النقل. وقد وجد أن مسافة المسير المتوسطة لعربة بضائع سكة حديد هي حوالي ٥٧,٤ ميل في اليوم (في أمريكا)، وهي مسافة يمكن قطعها، عادة، في ساعة واحدة. أي أن عربة الشحن تقضي ساعة واحدة، فقط، خلال ٢٤ ساعة في الحركة على الطريق، وتقضي معظم الـ٢٣ ساعة الباقية واقفة أو تقوم بأنشطة داخل المحطات أو مرافق النقل – في ساحات الفرز أو عند أرصفة التحميل والتفريغ أو في التحويل والتبديل أو على سكك الإصلاح . . . إلخ. وتقضي سفن الشحن السائب في البحيرات العظمى نحو ١٥٪ من وقتها في الموانيء، ولكن صيانتها وإصلاحها يؤجلان حتى أشهر الشتاء الثلاث حين تكون متوقفة عن الإبحار تماماً. أما سفن البضائع العامة فيمكن أن تقضي حتى مابين ٥٠٪ و ٦٥٪ من وقتها في الموانيء. وتمضي الطائرات مابين ٣٠ و ٦٠ دقيقة في الأرض لكل ساعتين من زمن الطيران. وتحتاج الطائرات توقفات أطول في المحطات خلال الإصلاح والصيانة. وتنحصر معظم عمليات الشاحنات الآلية انحصاراً رئيساً في المحطات، وتحتاج مقطورة الشاحنة، عادة، وقتاً لتفريغ محتوياتها وتحميلها مرة أخرى مساوياً للوقت الذي تقضيه في توصيلها.

وهناك تفاوت كبير في أنواع مرافق المحطات المطلوبة أو المتوافرة التي تتطلب استثمارات ضخمة. وتشتمل تلك الأنواع على ساحات السكك الحديدية ومحطات البضائع وأرصفة السفن وسقائف الشحن العابر (مخازن البضائع المنقولة عن طريق النقل المائي) وصوامع الحبوب ومحطات المنتجات الزراعية ومخازن الفحم والخامات والورش ومحطات الصيانة، على سبيل المثال. وتوفر مواقف السيارات مخازن لها، أما صيانتها وخدمتها فتتم، عادة، في محطات الوقود المنتشرة على الشوارع.

أنواع المنقولات Types of Traffic. تؤثر أنواع المنقولات المارّة عبر المحطة تأثيراً مهماً على التشغيل وعلى المرافق المطلوبة (كما تؤثر، أيضاً، على النقل على الخط). ويمكن للمرء أن يميز الاحتياجات الخاصة بكل نوع من السلع والمنقولات. فالفواكه والخضراوات الطازجة المعرضة للتلف يجب نقلها بسرعة مع إبقائها مبردة عن طريق التهوية أو التثليج في الصيف ودافئة في الشتاء بوساطة سخانات الفحم الحجري أو غيرها. وذلك يتطلب مرافق مناسبة تشمل، على سبيل المثال، أجهزة التبريد المتنقلة التي تُركّب على الشاحنات وعربات السكك الحديدية ومحطات المنتجات الزراعية. ويجب إبقاء بعض الأطعمة مجمدة، مثل اللحوم وعصائر الفواكه المركزة، باستخدام ثلاجات ميكانيكية في مباني المحطات وفي المركبات المتنقلة. وتتطلب شحنات الموز وغيرها من الفواكه السريعة التلف ساحات لحجز العربات التي تحملها وإعادة شحنها، مع توافر الاتصالات السريعة اللازمة لتغيير اتجاه العربات أثناء رحلتها على السكة وتوجيهها إلى أفضل الأسواق الاستهلاكية. وتتطلب المواد الحبيبية السائبة عند تخزينها توافر صوامع الحبوب وأرصفة تخزين الفحم ومستودعات استقبال حمولات العربات التي تلقي حمولتها من

فتحات في أسفلها وسيور متحركة لنقلها إلى المخازن أو لتحويل حركتها إلى مركبة أخرى. وتفرّغ السفن من محتوياتها من الشحنات الحبيبية بوساطة الرافعات المتحركة (أوناش)، أما الشحنات السائلة كالنفط فتحفظ في مخازن الصهاريج. وتتطلب البضائع المصنّعة التي تختلف في أنواعها وتتميز بارتفاع أسعارها معدات رافعة لتحميلها أو تنزيلها، وأحياناً، تتطلب مركبات مصممة خصيصاً لنقلها. وعادة ما تكون السرعة مطلوبة في عمليات التحميل والتفريغ، وتتطلب ناقلات الحيوانات الأليفة والمواشي وجود حظائر بممر جانبي للتحميل وممر متوسط أو في الخلف للتفريغ مع مرافق لسقي تلك الحيوانات وعلفها.

وتشكل سلع الفحم والحبوب وغيرها من السلع التي تحمل الغبار إزعاجاً للمناطق المحيطة بمحطات تحميلها وتفريغها، وكذلك أخطاراً محتملة من الانفجارات أو الحرائق. وينطبق خطر الحرائق، أيضاً، على المواد النفطية والكيميائية. وعادة ما يصحب نقل المواشي روائح منفّرة وكريهة. ولا ينتهي سرد قائمة السلع ومشاكلها الخاصة التي تنشأ عند كل عملية مناولة لها في المحطات.

وتُفرز عربات السكك الحديدية في الساحات إلى عربات مُحملة بالكامل تماما وعربات غير محملة، وأحياناً تفرز حسب نوع الحمولة. وبالإضافة إلى تقسيم السلع حسب أنواعها، يمكن، أيضاً، تقسيمها إلى بضائع عامة وبضائع سائبة، خصوصاً في النقل المائي. وكما يشير الاسم، فالبضاعة العامة تشمل جميع أنواع البضائع التي عولجت جزئياً أو كلياً أو البضائع المصنعة، وكذلك الشحنات الصغيرة مما يعرف عادة بالبضاعة السائبة. أما البضاعة السائبة فتشمل، بشكل رئيس، المواد الخام التي نقلت بكميات كبيرة والتي تتطلب مرافق خاصة للمناولة والتحويل والتخزين، ويمثل الفحم والخامات والحبوب والنفط والكبريت . . . إلخ أمثلة رئيسة للبضائع السائبة التي عادة ما تتم مناولتها في أرصفة خاصة الملكية.

وقد برز مؤخراً نوع جديد من أصناف الشحن مع إدخال خدمة الحاويات والمقطورات التي يمكن نقلها على عربات مسطحة للسكك الحديدية. ويتطلب هذا النوع من الشحن محطات مصممة تصميماً خاصاً لتحميل المقطورات والحاويات التي يتم نقلها بالسكك الحديدية وتنزيلها. كما تحتاج الحاويات إلى موانئ خاصة مجهزة عند نقلها عن طريق البحر.

التحميل والتفريغ Loading and Unloading. بالإضافة إلى وظائف المحطات البديهية التي تقوم بها كنقاط بداية ونهاية للرحلات، فإنها تؤدي خدمات أخرى مختلفة. وإحدى الوظائف الرئيسية للمحطة تحميل وحدة النقل وتنزيلها. وتؤدي محطات البضائع وسقائف الشحن العابر خدمات التحميل والتفريغ لعربات السكك الحديدية والشاحنات والسفن. كما تؤدي مصاعد الحبوب وأرضفة النفط تلك الوظائف لهذه السلع.

تجميع المنقولات وتركيزها Traffic Concentration. يتيح تجميع المنقولات وتركيزها مناولتها بكفاءة أكبر وتكلفة أقل. ونظراً لصغر سعتها، فإن الشاحنات والطائرات هي، فقط، التي تناسب نقل الشحنات المفردة والصغيرة. وحتى بهذه الأحجام الصغيرة، فإن تجميع البضاعة وتركيزها في مخزن واحد أو تجميع الركاب في مطار واحد

يعد من العوامل المساعدة. وبهذا الخصوص، فإن جميع مرافق الشحن سواء كانت داخل المدن أو خارجها والتي تقع عند تقاطع طرق رئيسة تقوم بأداء وظيفة المحطة. فصوامع الحبوب المقامة خارج المدن غالباً ما تقوم بتجميع الحبوب التي ترد إليها من المزارع حتى يتم تحميلها في عربات الشحن ونقلها دون حدوث التأخيرات التي يمكن أن تتم لو كان تحميل العربات يجري جزئياً عند كل مزرعة. وبالمثل، يجري تجميع الحبوب وتركيزها في محطات على شكل حمولة قطار كاملة أو حمولة مقطورة نهرية أو حمولة سفينة في أسواق الحبوب الثانوية. كما يتم تجميعها وتركيزها في صوامع الغلال داخل المدن، أيضاً. وبالإضافة إلى قيام صوامع الغلال بمهام الفرز والتصنيف والتجفيف والمزج والتخزين، فإنها تقوم أيضاً بمهام التحميل والتفريغ السريع للسفن والعربات الحديدية مما يقلل زمن دوراتها وبقائها في المحطة إلى أقل حد ممكن. وحديثاً أنشئت صوامع لتجميع الحبوب بسعات عالية في المناطق الريفية قريباً من مراكز الإنتاج حيث تنقل القطارات الحبوب إلى مراكز طحنها وتصديرها. ويؤدي توفير صوامع التخزين دوراً رئيساً في تسويق الحبوب.

كما تقوم أرصفة الفحم وخامات المعادن بتجميع كميات كبيرة من هذه السلع مما يتيح التحميل السريع للسفن والعربات الحديدية الذي يساعد على تقليل دورتها وكفاءة استعمالها. وعندما لا تتوافر هذه الأرصفة يساعد تجميع تلك السلع على شكل أكوام على القيام بهذه المهمة ولكن بكفاءة أقل.

كما يتم، بالمثل، تجميع الشحنات التي تقل عن حمولة عربة كاملة وتركيزها حتى تتجمع كميات كبيرة، وذلك في مخازن الشحن التابعة لشركات الشحن والسكك الحديدية والشحن الجوي وشركات ترحيل البضائع. كما يتم تركيز البضائع العامة من أجل نقلها بوساطة النقل المائي في سقائف الشحن العابر وغيرها من مناطق التخزين المجاورة للماء أو يتم تركيزها في عربات محملة في ساحات الحجز والمساندة التابعة للسكك الحديدية.

وهناك جانب آخر من جوانب تركيز المنقولات هو القيام باستلامها أو تجميعها. إذ يجب إحضار الشحنات المجزأة إلى مخزن الشحن أو السقيفة بوساطة عربات السكك الحديدية أو مركبات الطرق أو الصنادل. ويمكن إحضار البضاعة التي تقل عن حمولة عربة كاملة إلى مخزن الشحن بوساطة شاحنة شاحن البضاعة نفسه أو بشاحنة شركة تأجير خدمة الشاحنات أو بمركبة مخصصة لخدمات الاستلام والتوصيل التي تقدمها شركة الشحن الرئيسة التي ستنقل البضاعة على خط شحنها، وذلك باستخدام مركباتها الخاصة أو مركبات شركة متعاقدة معها للقيام بذلك.

وفي السكك الحديدية، تجمع العربات وتركز في ساحات الفرز حتى يمكن تجميع العربات الكافية لقيام القطار. ويمكن لمن يرغب بالشحن أن يطلب عربة شحن عن طريق وكيل شحن يُحضر العربة الحديدية إلى باب مخزن الشاحن (أو إلى ساحة توصيل عامة)، وذلك من ساحة الفرز عبر خدمة مفتاح تَحويل للسكك. كما تسمح مفاتيح التحويل، أيضاً، للعربات المحملة بالعودة إلى ساحة الفرز. أما في النقل النهري، فتحمّل الصنادل في أرصفة تحميل صناعية أو في سقائف شحن عابر عامة تُجمع في مقطورة يجرها زورق قطر. وعادة ما تكون منقولات المصنع الواحد كافية لتحميل مقطورة كاملة من الصنادل.

ويتيح تركيز البضائع التي تقل عن حمولة شاحنة واحدة في مخازن البضائع سرعة تحميل مقطورات الشاحنات. وأيضاً، يمكن أن تترك المقطورات لتحميلها في حين تقوم جراراتها بأداء خدمة في مكان آخر.

ومن جانب آخر، تقوم السيارات الخاصة وسيارات الأجرة والحافلات وقطارات النقل العام السريع المحلية بتركيز الركاب وتجميعهم في المطارات ومحطات السكك الحديدية وغيرها من محطات الركاب.

وعند توزيع المنقولات وتوصيلها إلى مقاصدها من محطتها النهائية، فإن العملية تتم عن طريق عكس العمليات المذكورة سابقاً، حيث يتم تنزيل البضاعة وتجميعها في سقائف الشحن العابر ومخازن البضائع وساحات الفرز للسكك الحديدية وفي صهاريج السوائل، وذلك للإعداد لنقلها وتوزيعها إلى أصحابها عن طريق مفاتيح التحويل للسكك الحديدية أو خدمات التوصيل أو بوساطة شاحنات صاحب البضاعة التي إما أن تكون مملوكة له أو مستأجرة. وتقوم المستودعات وصوامع الحبوب وصهاريج السوائل بحجز كميات كبيرة من البضائع في مواقع مركزية لتوزيعها بالتفصيل الذي يأخذ فترات زمنية أطول.

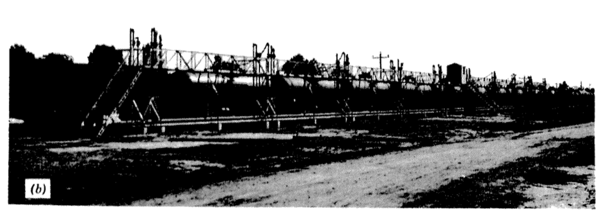
التحويل Interchange. إن المقصد النهائي لمعظم البضاعة التي تصل إلى محطة معينة، في الواقع، نقطة أخرى مما يتطلب تحويلها إلى مركبة أخرى لوسيلة النقل نفسها أو لوسيلة نقل مختلفة لإكمال رحلتها. وهذه وظيفة ساحات الفرز التي يتم فيها تحويل حمولات العربات إلى قطارات أخرى كما هي وظيفة أرصفة الشحن العابر في مخازن البضائع. وتنسق شركات السكك الحديدية مع السفن لتحويل نقل المواد الحبيبية السائبة في أرصفة خامات المعادن والفحم وصوامع الغلال . . . إلخ. كما يتم التحويل بين خطوط الأنابيب والبواخر والصنادل ومع السكك الحديدية عبر صهاريج التخزين والفوهات المرنة في أرصفة التحميل (الشكل ١ , ١٠). وتساعد المطارات على التحويل بين شركات الطيران المختلفة، وكذلك بين النقل الجوي والنقل الأرضي. وتتيح محطات النقل العام السريع للركاب التحويل من خط لآخر.

الفرز والتصنيف Classification. من أهم وظائف محطات النقل، أيضاً، وظيفة الفرز والتصنيف. وتصل هذه الوظيفة إلى أقصى حالاتها في ساحات الفرز في السكك الحديدية حيث تُنظّم العربات وترتّب إلى مجموعات كل مجموعة لها الوجهة نفسها (أو ترتب حسب نوع السلعة التي تنقلها أو أي ترتيب آخر). وتمر القطارات على ساحات الفرز وتسحب معها تلك العربات إلى وجهاتها المناسبة. وتقوم مخازن البضائع أو سقائف الشحن العابر بأداء وظيفة الفرز أو الترتيب نفسها للشحنات التي تقل عن حمولة عربة أو شاحنة كاملة، حيث تحجز تلك الشحنات حتى تصل شحنات أخرى لها المقصد نفسه وتوضع معاً في عربة حديدية أو شاحنة وترسل إلى وجهتها. ويوضح الشكل (٢ , ١٠) العلاقة بين الحركة على الخط والحركة في المحطات لوسائل النقل المختلفة.

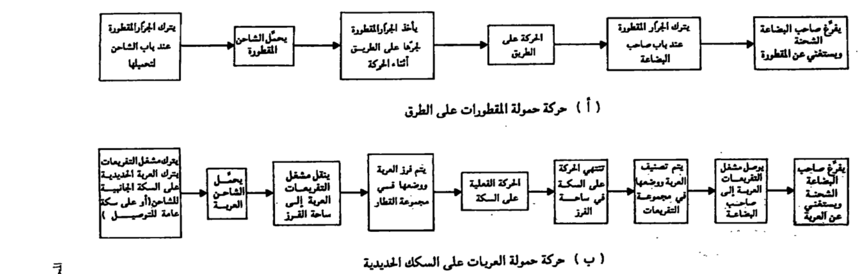
التخزين Storage and Warehousing. يعدّ تخزين السلع والبضائع، أيضاً، إحدى الوظائف التي تقوم بها محطات النقل. وتخزن الحبوب في صوامع، كما تستخدم المستودعات لتخزين السلع المستوردة بانتظار أن يفحصها موظفو الجمارك، أو لأغراض الحجر الصحي لفترات محدودة. وتعمل المستودعات المركزية التي تقع في أماكن استراتيجية نقاطاً لتجزئة الحمولات الضخمة حيث تتيح إرسال عدد قليل من العربات والشاحنات المحملة إلى عدد من مناطق التوزيع المحلية. كما تتيح المستودعات، أيضاً، سهولة الوصول إلى البضائع التي تحتاجها المناطق المحيطة بها.



الشكل (١٠,١أ). تركيز النفط وتحويله – تركيز النفط في «مزارع» صهاريج في مدينة بيمونت بولاية تكساس الأمريكية.
(Courtesy of *The Oil and Gas Journal*, Tulsa, Oklahoma, and Texas Eastern Transmission Corporation.)

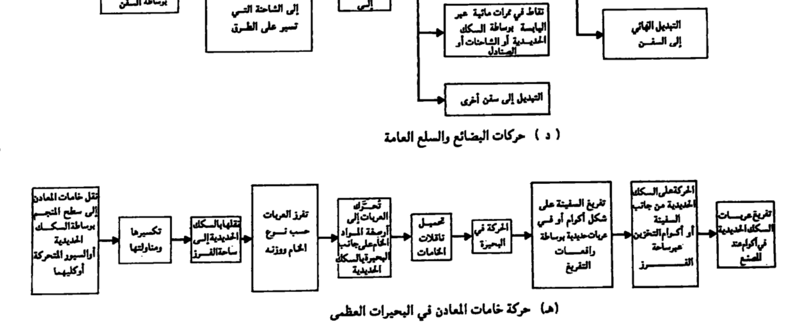


الشكل (١٠,١ب). تركيز النفط وتحويله – تحميل عربات الصهاريج.
(Courtesy of *The Oil and Gas Journal*, Tulsa, Oklahoma, and The Arkansas Fuel Oil Company, Shreveport, Louisiana.)



الشكل (٢،١٠). عمليات محطات النقل والتنسيق فيما بينها.

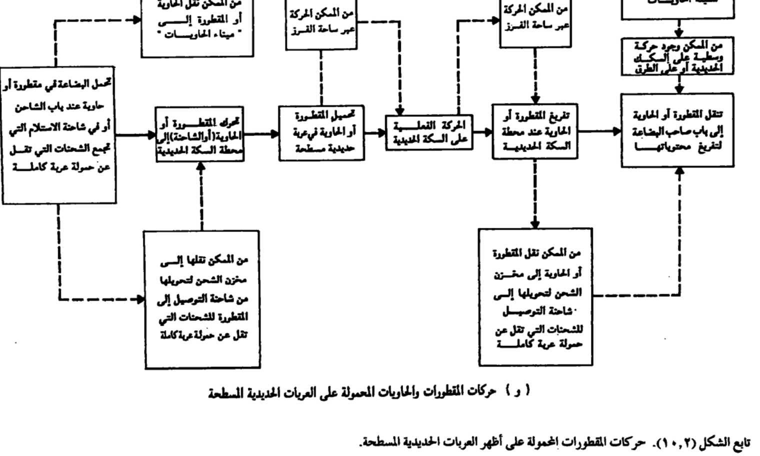
ملاحظة: جميع العمليات ما عدا الحركة الفعلية على السكة بين المحطات هي من وظائف المحطة أو عملياتها. وقد تتم مقاطعة الحركة الفعلية على السكة بواحدة أو أكثر من عمليات المناولة عبر ساحات الفرز أو خلال تبديل وسيلة النقل في أرصفة مخازن الشحن.



(د) حركات البضائع والسلع العامة

(هـ) حركة خامات المعادن في البحيرات العظمى

تابع الشكل (٢,١٠).



(و) حركات المقطورات والحاويات المحمولة على العربات الحديدية المسطحة

تابع الشكل (٢,١٠). حركات المقطورات المحمولة على أظهر العربات الحديدية المسطحة.

تغيير ملكية البضائع Reconsignmet. لا يكون المقصد النهائي للبضائع دائماً معروفاً بسبب إمكانية انتقال ملكيتها خلال رحلتها، وذلك حسب تغير أحوال السوق والطلب عليها. وفي حالة عدم تحديد وجهتها النهائية، فإنه، عادة، ما يتم إرسالها إلى محطة متوسطة وحجزها هناك بوساطة شركة النقل حتى تستلم توجيهات أخرى بخصوص وجهة البضائع النهائية، وعندها يتم إرسال الشحنة. وتنتشر ممارسة بيع الشحنات أثناء نقلها في السكك الحديدية، وهذا يتطلب تخصيص ساحات أو سكك للحجز ومحركات لتحويل تلك العربات وما يتعلق بذلك من اتصالات وإشراف.

التموين والصيانة Servicing and Maintenance. تحتاج المركبات خدمات الوقود والتنظيف والفحص والإصلاح وتغيير زيوت المحرك وتموينها بالطعام والمستلزمات الأخرى للركاب والمسافرين. وتشمل تجهيزات المحطات الخاصة بتلك العمليات حظائر الطائرات والوحدات المتحركة للتموين بالوقود والخدمة ومحطات القاطرات (أحواش المحركات) والأرصفة الجافة والمراثب ومحطات وقود السيارات والشاحنات المنتشرة على جوانب الشوارع.

التداخل Interface. إن من أهم الوظائف التي تؤديها محطة النقل القدرة على جعل نظام النقل وخدماته في متناول العامة من الشاحنين والركاب، وهذا ما يُسمى بالتداخل بين المستخدمين والناقلين. وهو، أيضاً، تداخل بين الناقلين الذين يستخدمون وسيلة نقل معينة وغيرهم من مستخدمي وسائل النقل الأخرى. وسنناقش في مكان لاحق من هذا الفصل صعوبات التنسيق في مسألة التداخل.

مشكلات المحطات وخصائصها
PROBLEMS AND CHARACTERISTICS

التخطيط الشامل Comprehensive Planning. لقد حُل معظم مشكلات النقل في الماضي بالتجزئة واحدة فالأخرى. وقد بنت السكك الحديدية ساحاتها ووسعتها استجابة لضغوط الطلب المحلي، وهذا التوجه موجود، أيضاً، في ساحات وسائل النقل الأخرى إلا أنه لم يحصل إلا حديثاً. وأحياناً تنشأ مواقف السيارات حيثما توفرت الأرض بدون الاهتمام بسهولة الوصول إليها أو تأثيرها على التدفق المروري أو استخدامات الأراضي المتوقعة. ويجب أن يكون تخطيط المحطات جزءاً أساسياً من التخطيط الشامل، كما يجب أن يربط التخطيط بين مرافق المحطة ووظائفها من جهة، وبين استخدامات الأراضي المتوقعة مستقبلاً ونظام النقل من جهة أخرى. وقد أصبح التخطيط الشامل للمحطات صعب المنال بسبب عدم وجود الخبرة الكافية ولتداخل المسؤوليات والمصالح العامة والخاصة والحكومية على مستوياتها المختلفة. وبالتخطيط الشامل، يمكن حل المشكلات والاختلافات قبل أن يتم تأصيلها عن طريق عمليات التشييد، كما يمكن تحديد أنماط استعمالات الأراضي للاسترشاد بها في تخطيط العناصر الأخرى.

تصميم المرافق Facility Design. يعد التصميم الهندسي والتشغيلي لمرافق المحطة المختلفة من المشكلات البارزة، ويجب أن يلبي التصميم متطلبات متعددة تشمل: (أ) وسيلة النقل، (ب) أنواع المنقولات، (جـ) السعة المطلوبة (يمكن استخدام الطلب الحالي في فترة الذروة مع الاحتياط للتوسع)، (د) التخطيط المحلي والإقليمي، (هـ) العلاقة مع الأجزاء الأخرى لنظام النقل، (و) السرعة والكفاءة التشغيلية، (ز) التأثيرات على البيئة، وأخيراً، وليس آخرًا (ح) خدمة أصحاب السلع والشاحنين.

عمليات التشغيل Operations . يجب توجيه تصميم مرافق المحطة لتسهيل عمليات تشغيل المحطة وصلتها بعمليات التشغيل على خطوط الحركة الرئيسة. ويستحق تقليل زمن خدمة النقل من الباب إلى الباب سواء للركاب أو للسلع اهتماماً خاصاً. ومع الأسف، فقد كانت التأخيرات في المحطة عاملاً رئيساً في سوء أداء خدمة النقل من الباب إلى الباب، وكذلك في سوء استغلال المعدات. ويجب أن تتحرك المركبات والمنقولات بسرعة عبر المحطات. كما يجب تخطيط خطوط النقل داخل المحطةوتشغيلها لتحقيق أفضل استغلال للمركبات، وأن تصمّم المحطة تصميماً متناسقاً مع الحرص على وجود أقل قدر ممكن من الحاجة لجر العربات والمركبات إلى الخلف أو بطريقة متقاطعة مع الطرق الأخرى، وتجنب الازدواجية في المرافق.

زمن دورة المركبة Turn-around Time. تنعكس كفاءة المحطة ومعداتها على الوقت الإجمالي الذي تستغرقه المركبة منذ إحضارها فارغة للتحميل ثم تحريكها إلى مقصدها وتفريغها لتصبح جاهزة لنقل شحنة أخرى. ويقصد بزمن دورة المركبة الوقت الذي يمر بين تحميل المركبة نفسها مرتين متتاليتين. وعادة، لا يمثل زمن الحركة على خط النقل إلا جزءاً يسيراً من الوقت الكلي المستهلك. وبالنسبة للسفن الجوالة وسائقي الشاحنات على الطرق الطويلة، فإن الكفاءة تنعكس في الوقت الذي ينقضي منذ وصولهم إلى محطة التفريغ وتفريغ حمولتهم وتحميل شحنة أخرى ثم الانطلاق على الطريق مرة أخرى. وتتفاوت هذه الأوقات كثيراً بين الحالات المختلفة، ولكن متوسطاتها معروفة لبعض وسائل النقل. فعلى سبيل المثال، تتطلب عربة السكك الحديدية مابين ١٠ و ١٤ يوماً. وتتراوح فترة مكوث السفن في الموانىء حسب حمولتها، فمثلاً، تمضي سفن الشحن السائب في البحيرات العظمى مابين ٤ و ١٢ ساعة في حين تمضي سفينة الشحن العام البالغة حمولتها ٨٠٠٠ طن (٧٢٥٦ طنا متريا) ما بين ٦ و١٠ أيام راسية في الميناء. وعندما تصل مقطورات الشاحنات المحملة إلى محطة الشحن في الصباح، فإنها يمكن أن تفرغ حمولتها و تحمل مرة أخرى لتستطيع الخروج محملة في مساء اليوم نفسه عندما لا تكون المحطة مزدحمة. وتعكس هذه الاختلافات في زمن دورة المركبة، جزئياً، كفاءة المحطة (على سبيل المثال، قد تضطر السفن لانتظار دورها في رصيف الميناء) أو تعكس الخصائص التقنية للناقل وأهمها حجم العمليات التي يقوم بها. وبالطبع، فإن زمن دورة العربة الحديدية التي يجب أن تمر عبر عدة ساحات متوسطة قبل أن تصل إلى الساحة التي يتم فيها فرزها للحركة على الطريق، لن يكون زمناً قصيراً. وعندما يكون المرفأ ضعيف التجهيزات، فقد تضطر السفن إلى الرسو خارج مدخله بانتظار هدوء الأمواج والتيارات المائية كي تدخل للمرفأ. وتتميز الشاحنات والسيارات بمرونة حركتها

الذاتية داخل مرافق المحطة، في حين تفقد السكك الحديدية هذه الميزة. ويقف وراء النجاح الباهر في سجل سلامة النقل الجوي وقصر زمن الرحلة للخطوط الجوية التجارية، طاقم أرضي من الفنيين الذين يقضون ساعات طوالاً في الفحص والصيانة.

ويرتبط زمن دورة المركبة ارتباطاً واضحاً بكمية المعدات المطلوبة. فتقليل متوسط زمن دورة عربة شحن حديدية سيكون مكافئاً لإضافة آلاف العربات الإضافية إلى أسطول العربات الحالي. وسيتيح تقليص زمن دورة المركبة إلى النصف للشاحنة أو للسفينة أو للطائرة مناولة حجم المنقولات نفسه بنصف عدد المركبات تقريباً.

وتساهم عوامل عديدة في توفير المعدات منها درجة توافرها من حيث الملكية وحالتها الفنية ومدى ملاءمتها لنوع معين من المنقولات. ومن الأهمية بمكان الحرص المبذول من جهاز الإشراف المحلي على إبقاء المعدات في حركة دائمة. ويمكن أن يكون للتنظيم الذي يجعل المشرف مسؤولاً عن تكاليف الأوقات التي تقضيها العربة أو المقطورة أو الصندل أو الطائرة الواقعة تحت إشرافه نتائج مشجعة.

وهناك عامل آخر مؤثر في زمن دورة المركبة لا يملك الناقل سيطرة مباشرة عليه، وهو سوء استعمال الشاحنين وأصحاب البضائع للمعدات مثل العربات الحديدية والصنادل ومقطورات الشاحنات. فمثلاً، عندما تصل وحدة الشحن المحملة (عربة أو مقطورة أو حاوية أو صندل) إلى مقر مالك البضاعة أو الشاحن في نهاية يوم الأربعاء، فإنها ستبقى واقفة لمدة يومين (على فرض أن الأسبوع خمسة أيام عمل) أثناء الإجازة الأسبوعية، وهي محملة حتى تُفرّغ عند وصول العمال صباح يوم السبت. وحتى بعد تفريغها، فإنه يمكن إبقاء الوحدات لعدة أيام لتحميلها بشحنة جديدة، وذلك لتخوف الشاحن من عدم توافر وحدة شحن أخرى عند حاجته إليها. ويشمل سوء الاستخدام، أيضاً، حجز وحدات الشحن كأماكن للتخزين وطلب عدد من الوحدات أكثر من الحاجة الوقتية، وعدم تنظيف الوحدة المتسخة بعد استعمالها وتركها مملوءة بحشوات وقاية الحمولة بعد تفريغها. وتؤدي هذه إلى زيادة زمن دورة المركبة وزيادة عدد الوحدات اللازمة للقيام بالخدمة. وتتعرض مركبات النقل المفردة لدرجة أقل من التأخير بسبب ذلك مقارنة بوسائل النقل المجمعة، في حين لا تتعرض خطوط الأنابيب والسيور المتحركة والعربات المعلقة لهذه المشكلة بتاتاً.

تكاليف المحطات Terminal Costs. يمكن تقسيم تكاليف النقل الكلية إلى: (أ) تكاليف النقل على الخط، (ب) تكاليف المحطات. وضمن حدود معينة، فإن تكاليف النقل على الخط ستتغير مع تغير طول مسافة النقل، مع ملاحظة أن تكلفة الوحدة تنقص، عادة، مع زيادة المسافة. وفي الجانب الآخر، فإن تكاليف المحطات لا علاقة لها بمسافة النقل، إذ إن تكاليف خدمات المحطة ستكون هي نفسها سواء نقلت الحمولة لمسافة ١٠ أميال أو ١٠٠٠ ميل على خط النقل. ولذا، فإذا زادت تكاليف المحطات بالنسبة لتكاليف النقل على الخط لناقل معين فإنه سيواجه صعوبات مالية. وقد قدرت لجنة التجارة بين الولايات المتحدة الأمريكية أن تكاليف المحطات لعام ١٩٥٧ م لسكك حديد شرق الولايات المتحدة بلغت ٣٨ , ٦٤ دولار للعربة العادية بحمولة ٥ , ٤٧ طن (١ , ٤٣ طن متري)، في حين كانت تكاليف الحركة على الخط ٣٣, ٠ دولار للميل الواحد. وبالتالي، فإن تكاليف المحطات تعادل نحو

مسافة حركة على الخط طولها ١٩٥ ميلاً (٣١٤ كم). ولكن تكاليف المحطة كانت ستظل نفسها لو كانت العربة تقطع، فقط، ٥٠ ميلاً في حركتها على الخط (٨٠,٥ كم). وفي هذه الحالة، فقد كان يجب على الناقل أن يكسب ١,٢٩ دولار لكل عربة/ ميل لتغطية التكاليف. وطبعاً، لا يهمنا هنا قيمة التكلفة بالدولار والتي يمكن أن تتغير من مكان لآخر ومن وسيلة نقل لأخرى، ولكن القاعدة هي نفسها لجميع وسائل النقل حتى لتلك المستثناة أحياناً من خطوط أنابيب وسيور متحركة وعربات معلقة.

المحطات واستعمال الأراضي Terminals Versus Land Use. كثيراً ما ينال اختيار موقع المحطة بالنسبة لاستعمالات الأراضي اهتمام مخططي النقل ومخططي المدن. والموقع المثالي لمرافق المحطات يكون بالقرب من مصادر المنقولات. وللسكك الحديدية ميزة تساعدها على المنافسة وتتمثل في وجود محطاتها داخل المدن بالقرب من مصادر المنقولات. ونظراً لغياب التخطيط المناسب للمدن من حيث استعمالات الأراضي في الماضي، فقد أدى ذلك لتوزع الأنشطة الصناعية والتجارية توزّعاً عشوائياً على الأجزاء المختلفة لعديد من المدن. وقد أدى ذلك إلى حدوث التقاطعات المتكررة في مسارات السكك الحديدية والشاحنات والقنوات المائية. ولا يمكن لمدينة كبيرة مكتملة النمو ولها أنماط معروفة لاستعمالات الأراضي التي نشأت عشوائياً أن تحسن وضعها دون خسائر مالية باهظة. وعادة ما تكون السكك الحديدية هي المنشأة أولاً ولذلك فهي لا تسمح بإزالة سككها ومرافقها إلا باشتراط إبقاء وضعها كما هو من حيث عدم تحمل أي تكاليف لقاء ذلك وضمان عدم فقد أي من حجم النقل الحالي والمتوقع أو الخدمات التي تقدمها حالياً. وإذا كان هناك خسارة لأي من ذلك فيجب تعويضها عنه.

وتتسبب مسارات السكك الحديدية التي على مستوى الشوارع في حدوث مشكلات واضحة عند التقاطعات السطحية بين السكك والشوارع من حيث خطورتها والتأخير الذي تسببه للعبور، وكذلك لحدوث الاختناقات المرورية. وفي المقابل، فإن رفع سكك الحديد والطرق السريعة على منشآت عالية وجسور أو خفضها عن مستوى الأرض عن طريق القطع يساعد على تخفيف مشكلةالتقاطعات السطحية وأخطارها، ولكنه يؤدي إلى التقسيم العضوي لأجزاء المدينة ويُوجد مشكلات الانتقال من جانب إلى آخر عبر تلك الطرق والسكك. كما أن تجمع مياه السيول والمخلفات في مناطق القطع المفتوحة تعد مشكلة بحد ذاتها. وقد ساعد استخدام الأنفاق في تخفيف الحركة السطحية ولكنها مكلفة وتسبب حدوث مشكلات في تمديدات شبكات المياه والغاز والصرف الصحي وغيرها من الخدمات المدفونة تحت سطح الأرض، كما أن الأنفاق لا توفر سهولة الوصول للمصانع التي تمتد على طول مسارها والتي قد لا تستفيد من القطارات في نقل شحناتها. وقد استعملت بعض ممرات النقل التي يشترك في حرمها أكثر من وسيلة نقل بنجاح كما في الطرق السريعة التي تخصص جزيرتها الوسطية لحركة قطارات النقل العام السريع. كما يمكن استغلال الحيز الرأسي فوق السكك أو الطرق السريعة على شكل مبان، ويمكن حل مشكلات وقوف السيارات بإنشاء مواقف متعددة الأدوار تحت سطح الأرض. وقد ثبتت جدوى تجميع المرافق وإلغاء ازدواجيتها، فمثلاً، تقلل المحطات المشتركة التي تخدم الشاحنات أو الحافلات التابعة لشركات مختلفة الحاجة لإنشاء طرق ومسارات مزدوجة لها. كما أن المحطات العامة للسكك الحديدية توفر خدمة غير منحازة لأي

من شركات السكك الحديدية للوصول إلى أصحاب البضائع والشاحنين دون الحاجة لإنشاء سكك خاصة بكل شركة. وتتعارض الحاجة لسهولة الوصول إلى المسارات بين المدن (سكك الحديد أو الطرق الطويلة أو الموانيء) مع سهولة الوصول إلى مصادر المنقولات والشحن.

ويعد تطوير المجمعات الصناعية خارج المدن التي تتوافر فيها سهولة الوصول لخدمات النقل والخدمات والمنافع الأخرى خطوة إيجابية إلى الأمام في مجال تخطيط استعمالات الأراضي.

التأثيرات على البيئة Effects on Environment. تساهم مرافق المحطات وعمليات تشغيلها مساهمة خطيرة في تلوث البيئة بجميع أنواعه، تلوث الهواء والماء والضوضاء والتشويه البصري المرئي. وللتمثيل على ذلك، فإن مصادر التلوث يمكن أن تشمل غازات العوادم في مواقف السيارات، والغبار من محطات تحميل الفحم وتفريغه والحبوب وخامات المعادن، والضوضاء الناتجة عن الصدمات وصرير مكابح العربات الحديدية في الساحات، وإفرازات السفن في الموانىء، والفواصل العضوية التي تفرضها طرق الوصول للمحطات بجدرانها الاستنادية الضخمة والطويلة، وضجيج الشاحنات الداخلة والخارجة من محطات الشحن. وليست كل آثار المحطات على البيئة سلبية، إذ يمكن للمحطات أن تساهم في تحسين مستوى البيئة. فساحات السكك الحديدية يمكن أن تعمل كمناطق انتقالية بين استعمالات الأراضي المتنافرة وغير المتوافقة. كما أن المحطات المشتركة للشحن والركاب تقلل عدد المنشآت اللازمة وتقلل مقدار الازدحام في الشوارع بسبب الحركة الزائدة للسيارات والشاحنات. ويمكن أن تساعد مواقف السيارات متعددة الأدوار التي تنشأ تحت الأرض في الحفاظ على المساحات الخضراء والحدائق المقامة فوقها على سطح الأرض في مراكز المدن، كما يمكن تجميل مواقف السيارات السطحية بالمزروعات لتوفير منطقة جذابة مفتوحة بين مباني المدن. وهناك حاجة دائمة للنظرة البعيدة وإيجاد حلول لحماية الأراضي المجاورة للمحطات وتطويرها.

التنسيق Coordination. نظراً لأهمية موضوع التنسيق، فقد خصصنا الجزء التالي بأكمله لهذا الموضوع.

أسس التنسيق
COORDINATION PRINCIPLES

تعريف التنسيق وأهميته Definition and Significance. يعرّف النقل المثالي، عادة، بأنه تحميل الشحنة في حاوية (عربة شحن أو سفينة أو شاحنة . . . إلخ) أو في نظام نقل (خط أنابيب أو سير متحرك . . . إلخ) عند باب صاحب البضاعة أو الشاحن ثم تحريك الشحنة مباشرة على خط النقل إلى وجهتها دون القيام بأية عملية أخرى، وتوصيل الشحنة إلى باب صاحب البضاعة. ولكن هذه المثالية لا تتحقق دائماً في الحياة العملية، وقد تكون مستحيلة أو حتى غير مرغوب فيها.

ولكل نوع من وسائل النقل مزايا إيجابية تقنية واقتصادية معينة، كما أن له سلبيات أخرى. ويمكن أحياناً تحقيق أفضل المزايا أو القضاء على السلبيات عن طريق الجمع بين وسيلتي نقل أو أكثر للقيام بأداء خدمة نقل مشتركة

عن طريق التنسيق بينها . وقد يؤدي التنسيق إلى إيجاد خدمة أسرع أو أكثر اعتمادية للشاحن وتوفيراً اقتصادياً لشركات النقل والتي يمكن أن تنتج عن تسعيرات أقل يستفيد منها العامة . ويجب أن يوجه الاهتمام لحركة الركاب والبضائع من الباب إلى الباب . وتتركز خطوات التنسيق، عادة، على وظائف النقل ومرافقه . وتعد المحطات المشتركة للقطارات أو الحافلات (تخدم عدة شركات) وتجميع البضائع وتوصيلها بوساطة الشاحنات من خطوط النقل وإليها، والانتقال من المطار وإليه بالسيارات والحافلات وسيارات الأجرة أو بالطائرات العمودية، أمثلة على خدمات النقل المنسّقة . وهناك خدمات أخرى منسّقة ولكنها ليست معروفة لكثير من عامة الناس . وتمثل كل حالة من حالات التنسيق مسألة خاصة يجب دراسة مزاياها وسلبياتها قبل إتخاذ قرار بالمضي قدماً في تنفيذها .

عوامل التنسيق Coordinative Factors. ما العوامل أو الحالات المجتمعة التي تفرض التنسيق؟ فيما يلي محاولة للإجابة عن هذا السؤال .

توسيع رقعة الخدمة. يعد هذا العامل من العوامل الأساسية للتنسيق . فالطائرات لا تستطيع الإقلاع والهبوط في مركز مدينة ضخمة أو في وسط منطقتها التجارية . لذا، يجب أن تمتد خدمة الطائرات إلى المصادر المتوقعة للطلب على خدمتها باستخدام وسائل النقل الأرضي . وتستخدم مرونة حركة الشاحنات بوساطة السكك الحديدية لمد خدمتها إلى باب الشاحن . كما أن خدمة التغذية التي تقوم بها وسائل النقل المختلفة لتوصيل المنقولات من خطوط النقل الرئيسة وإليها تعد شكلاً من أشكال التنسيق . كما أن وجود المسطحات المائية الضخمة المعترضة قد يتطلب وجود خدمة نقل مشتركة تجمع بين السكك الحديدية أو الطرق مع النقل المائي . كما قد يتطلب الوصول إلى منجم في منطقة جبلية وعرة استخدام سكة حديدية تخترق المنطقة الأقل وعورة ثم تكمل عملية النقل باستخدام العربات الهوائية المعلقة في المناطق التي تستعصي على السكك الحديدية .

السرعة. يمكن التمثيل لاستخدام أكثر من وسيلة نقل لتحقيق سرعة الانتقال بقيام سكان ضواحي المدن الضخمة بقيادة سياراتهم الخاصة إلى مواقف السيارات الملاصقة لمحطات خطوط النقل العام السريع أو قطارات الضواحي، وترك سياراتهم هناك وركوب القطارات إلى وسط المدينة .

الراحة والملاءمة. إن الرغبة في تقديم خدمة أكثر ملاءمة ومنافسة قد أدت إلى نشوء أنواع من التنسيق مثل خدمات استلام السلع وتوصيلها في الشحن بالسكك الحديدية وفي الشاحنات على الطرق، وتوصيل الشحنات بوساطة الشاحنات بدلاً من العربات الحديدية التي تأخذ وقتاً أطول لنقل الشحنات من محطة السكة الحديدية إلى باب صاحب البضاعة عن طريق سكة فرعية . ويسهل التنسيق عملية تجميع الشحنات وتركيزها، وذلك بالسماح لناقلي الشحنات السائبة أو الكبيرة بتجميع كميات كبيرة من السلع في المخازن أو الصهاريج، وكذلك باستخدام وسائل نقل أخرى لتجزئة تلك الشحنات بكميات قليلة وتوزيعها .

التوفير الاقتصادى. في بعض الحالات، قد تفرض الحاجة للتوفير ضرورة التنسيق. والتوفير هنا قد يشمل التوفير المالي والتوفير في استعمالات الأراضي. فإن الاستخدام المشترك لحرم الطريق نفسه من عدة أنواع من وسائل النقل يعد مثالاً للتوفير في استخدام الأرض، حيث توجد خطوط نقل عام سريع بالسكك الحديدية في الجزيرة الوسطية لبعض الطرق السريعة. كما أن بعض خطوط الأنابيب قد جرى مدها ودفنها في حرم الطريق المخصص للسكك الحديدية. وفي ألمانيا، يوجد قطار أحادي القضيب معلق فوق ممر مائي.

وقد يكون تحقيق التوفير المالي هو السبب وراء فكرة المحطات المشتركة للسكك الحديدية أو للحافلات التابعة لعدة شركات نقل والتي تلغي الحاجة لوجود محطة لكل ناقل، وبالتالي، يتم تلافي ازدواجية التكاليف الرأسمالية والتشغيلية والإدارية التي قد تنتج عن ازدواج المرافق.

وعادة ما يوجد عديد من هذه العوامل أو كلها في الوقت نفسه لتفرض ضرورة التنسيق. فعلى سبيل المثال، يؤدي التوفير في استخدام الأرض، عادة، (ولكن ليس دائماً) إلى التوفير المالي، أيضاً.

قيود التنسيق. يجب عدم اللجوء إلى التنسيق إلا عندما يساهم مساهمة حقيقية في تحقيق توفير إجمالي وكفاءة في الحركة. ولأن التنسيق والجمع بين أكثر من وسيلة نقل يتطلب، أحياناً، تبادل المعدات والشحنات بين وسائل النقل المختلفة، فإن ذلك قد يزيد احتمال فقدانها أو تعرضها للضرر. وعلى سبيل المثال، فإن شحن الفحم بوساطة عربة حديدية تم تفريغها في سفينة ثم إلى عربة سكة حديد (باستخدام الرافعات والأوناش) مرة أخرى يمكن أن يفتت قطع الفحم إلى جزيئات صغيرة نتيجة المناولة المتكررة، وهذا يعني فقدان أطنان من الفحم نتيجة تطايره على شكل غبار ونتيجة تسرب الأجزاء الناعمة منه من العربات. ولذا، فإن من مقومات تصميم محطات التحويل والتبادل تقليل عمليات إعادة المناولة والحركة العكسية إلى أقل حد ممكن. ويمكن نقل الشحنات الضخمة من ناقل لآخر عن طريق تبادل الصنادل أو العربات الحديدية أو مقطورات الشاحنات دون التأثير على محتويات الشحنة والإضرار بها. وبالمثل، فإن استخدام المقطورات فوق العربات الحديدية المسطحة والحاويات يقلل الحاجة لإعادة مناولة الشحنات الصغيرة وما يتبع ذلك، عادة، من خطر فقدها أو تلفها أو سرقتها. وتتغير عوامل الوقت والتكلفة حسب الحالة والمرفق والسلعة ونظام التشغيل.

أنـــواع التنسيـــق
TYPES OF COORDINATION

يجري التنسيق، عادة، إما بين شركات نقل مختلفة تستعمل وسيلة النقل نفسها أو بين ناقلين يستخدمون وسائل نقل مختلفة. ويأخذ التنسيق، عادة، واحداً أو أكثر من الأشكال التالية:

الاستخدام المشترك للمحطات Joint Use of Terminals. تمثل المحطات المشتركة التي تستخدمها عدة شركات من السكك الحديدية أو الحافلات أو الخطوط الجوية، سواء للركاب أو للشحن، وسقائف الشحن العابر التي تخدم

كلاً من الحمولات النهرية وحمولات البحيرات أمثلة للاستخدام المشترك للمحطات. وتشمل فوائدها سهولة التحويل، وتوفير مرافق ذات تجهيزات أفضل من تلك التي قد يستطيع الناقل الواحد تحمل تكاليفها، وتلافي الازدواجية في الخطوط والمرافق وتحقيق توفير في استعمال الأرض.

ويتحقق التوفير في إنشاء محطات الركاب المشتركة من تقليل مصاريف الضرائب والتمويل والصيانة والتشغيل التي كانت ستدفع لو أقامت كل شركة نقل محطة خاصة بها. وعادة ما تساهم كل شركة نقل تستخدم المحطة المشتركة بنصيب من هذه التكاليف، ولكن ليس بالضرورة بالنسبة نفسها.

وتحقق المحطة المشتركة للشحن وفورات في الأميال المقطوعة وفي عدد المركبات اللازمة. فمثلاً، قدرت مصلحة النقل في مدينة نيويورك التوفير الذي تحقق من الاستخدام المشترك لإحدى محطات الشحن التابعة لها بـ ١٨٣٠٠٠٠ شاحنة- ميل و ١٥٦٠٠٠٠٠ إطار- ميل و ٣٣٦٠٠٠٠ جالون من الوقود في العام، في حين زادت سعة النقل بالشاحنات على خط النقل بنسبة ٢٠٪ بسبب تقليل زمن دورة الشاحنات. وهناك مثال آخر، فقد اعتاد ناقل على استقبال حوالي ١٨ شاحنة في اليوم بحمولة متوسطة قدرها ١٩٠٠ رطل (٨٦٣ كغم) لكل شاحنة، وذلك في محطة الشحن الخاصة به، وعندما انتقل إلى محطة مشتركة مع ناقلين آخرين أصبح يستقبل يومياً ٤ شاحنات، فقط، حمولة كل منها ٨٥٠٠ رطل (٣,٨٥٩ كغم)، أي أن عدد مرات الخدمة قد قل مع بقاء الحمولة الإجمالية ثابتة، وفي هذا توفير واضح لعمليات الناقل.

وقد لا تكون عملية ميكنة التخزين مجدية لمخزن شحن واحد نظراً لمحدودية سعته، ولكن، عند اجتماع عدد من الناقلين في محطة تخزين مشتركة، فقد تصبح الميكنة مجدية حينذاك. فمثلاً، يقدر التوفير المتحقق من استخدام الرافعات الشوكية في تخزين البضائع الموضوعة على منصات نقالة (خشبية أو معدنية) بما يتراوح بين ٣٠ و ٦٥ دولارا لكل حمولة عربة حديدية.[1] وتنطبق القاعدة نفسها على الأنواع الأخرى من عمليات المحطات المشتركة.

وتشمل سلبيات المحطات المشتركة ندرة وجود أراض واسعة المساحات في مواقع مركزية تحتاجها، عادة، تلك المحطات بسبب زيادة السعة المطلوبة للعمليات المشتركة. وقد تضطر شركات سكة الحديد بسبب ذلك، على سبيل المثال، إلى جعل ساحات القطارات في مواقع بعيدة نسبياً عن المحطة مما يزيد من الوقت الميت المكلف لحركة القطارات فارغة من ساحاتها وإليها. كما أن محاولة الجمع بين خدمة نقل الركاب على الخطوط الطويلة وخدمة نقل الركاب داخل المدينة في محطة مشتركة يمكن أن يسبّب حدوث ازدحام على الأرصفة خلال ساعات الذروة الصباحية والمسائية بسبب انتقال الموظفين من أعمالهم وإليها، بالإضافة إلى حركة المسافرين العادية. وقد يستوجب هذا الوضع إنشاء أرصفة إضافية تبقى خالية وغير مستعملة في معظم ساعات اليوم باستثناء ساعات الذروة.

تنسيق الجداول الزمنية Coordination of Schedules. يمكن تنسيق مواعيد رحلات الركاب والشحن لناقل معين مع مواعيد رحلات الناقلين الآخرين لتسهيل مواصلة رحلات المنقولات إلى وجهتها. ويحدث ذلك، غالباً، عندما

---

(١) "Better Materials Handling, etc." Railway Age, August 10, 1959, Simmons-Boardman Publishing Company, New York.

يكون الناقلون مشتركين في محطة واحدة، أو عندما يوفر ناقل معين خدمة تغذية لناقل آخر. وهذا النوع من التنسيق شائع في السكك الحديدية حيث تنّسق الشركات جداولها الزمنية كممارسة روتينية عندما تتبادل أحجاماً كبيرة من حركة الشحن. كما يمكن أن يتم نقل قطار كامل من شركة إلى أخرى بناء على جداول زمنية متفق عليها مسبقاً.

تبادل المعدات Interchange of Equipment. تتبادل كل من خطوط الشاحنات وخطوط الصنادل المقطورات والصنادل تبادلا محدوداً. ولكن هذه الممارسة ومزاياها تظهر ظهورها الأكمل في عمليات السكك الحديدية حيث تتحرك العربات ومحتوياتها بحرية من ناقل لآخر. ويوفر هذا التبادل تكاليف إعادة مناولة الشحنة والوقت الضائع في تفريغ الشحنةوإعادة تحميلها. ولكن التبادل يتطلب ضرورة وجود مزايا نمطية في تصميم المعدات التي يجري تبادلها. وتشمل سلبيات التبادل الصعوبات التي تواجهها شركات النقل في استعادة معداتها، وعدم التوازن غير المرغوب فيه بين عدد المعدات التي تملكها الشركة ولاتزال في حوزة الآخرين ومعدات الآخرين التي لاتزال في حوزتها، خصوصاً مع الناقلين الآخرين الذين لديهم نقص في ملكية العربات أو المقطورات أو الصنادل، واضطرار الشركة لصيانة معدات الشركات الأخرى، والصعوبة في تحديد رسوم الاستخدام والصيانة لمعدات الآخرين وتحصيلها، وأخيراً عودة العربات فارغة.

حقوق استخدام السكة Trackage Rights. تتوافر في السكك الحديدية فرص إضافية للتنسيق بين شركاتها. وعندما تملك شركتان خطين حديديين متوازيين تقريباً، فإن حقوق استخدام السكة الممنوحة من أحد الناقلين للآخر تتيح له استخدام تلك السكة. وتتيح السعة الزائدة المتوافرة، عادة، في معظم تصاميم السكك إضافة عدد من القطارات الإضافية دون تكبد خسائر رأسمالية إضافية تذكر. وعندما تكون السعة محدودة، فإنه يمكن دمج السكتين المفردتين المتوازيتين للحصول على المزايا الإيجابية لعمليات السكك المزدوجة، أو يمكن تشغيلها بنظام التحكم المركزي مما قد يسمح لسكة واحدة منهما باستيعاب كل من الحركة عليها والحركة على السكة الأخرى والاستغناء عن تلك السكة. وينتج عن ذلك توفير يتمثل بالعائد المادي من القيمة التخريدية للقضبان والأربطة الحديدية، والتوفير في الضرائب (٥٠٠ إلى ٥٠٠٠ دولار/ ميل)، والصيانة (٣٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ دولار/ ميل). كما يمكن، أيضاً، أن يتحقق توفير في عمليات التشغيل لو كانت ميول السكة المضيفة التي يقابلها القطار أقل حدة. ويمكن أن تحسب رسوم حقوق استخدام السكة لكل قطار أو لكل طن إجمالي - ميل أو لكل عربة أو كنسبة ثابتة من تكاليف التشغيل.

الاستخدام المشترك لحرم الطريق Joint Use of Right of Way. لم يحظَ موضوع إمكانية الاستخدام المشترك لحرم الطريق بالاهتمام المناسب إلا مؤخراً. ويقترح من وقت لآخر إنشاء طريق على حرم السكة الحديدية نفسها يكون مرفوعا على منشآت علوية أو جسور. وبالمثل، اقترح إنشاء سكك حديدية فوق الطرق، ولكن أحمال السكك الأثقل تتطلب دعماً أكبر، حيث تصل حمولاتها المحورية إلى ٨٠٠٠٠ رطل (٣٦٣٢٠ كغم) مقارنة بـ ١٨٠٠٠ إلى ٢٠٠٠٠ رطل (٨١٧٢ إلى ٩٠٨٠ كغم) لكل محور في الشاحنات. ولكن، في المقابل، يجب رفع سكة

الحديد فوق الطريق بخلوص قدره ١٤ إلى ١٦ قدماً (٣,٤ إلى ٩,٤ متر) فقط، في حين يتطلب رفع الطريق فوق سكة الحديد بخلوص قدره ٢٢ إلى ٢٤ قدماً (٦,٧ إلى ٧,٣ متر)، كما أن ميول السكك الحديدية أقل حدة من ميول الطرق، عادة. وفي الواقع، فإن القطارات لا يمكنها تسلق بعض الميول الحادة للطرق حتى في مواصفات الطرق السريعة التي تكون أقل حدة، عادة. ولكلا الاقتراحين مشكلات في سهولة الوصول.

ويمكن استخدام الجزيرة الوسطية للطرق السريعة حرماً للسكة الحديدية خصوصاً لقطارات النقل العام السريع. ويحتاج الخط الحديدي المكوّن من سكتين باتساع قياسي يتراوح بين ٢٩ و ٣٢ قدما (٨,٨ إلى ٩,٨ متر) لعرض الجزيرة الوسطية أي أعرض من الحد الأدنى المطلوب في مواصفات الرابطة الأمريكية للمسؤولين الحكوميين للطرق العامة والنقل (آشتو AASHTO) للطرق السريعة داخل المدن بمقدار يتراوح بين ١٣ و ١٦ قدما (٤,٠ و ٩,٤ متر)، ولكنه ضمن عرض ٤٠ قدما (١٢,٢ متر) الموصى بها للطرق السريعة ذات المواصفات العالية. ويمكن الحصول على الأراضي الإضافية المطلوبة بشكل أسهل وأرخص أثناء شراء الأراضي المخصصة للطريق بدلاً من شرائها بشكل منفصل فيما بعد. وهذا الأسلوب مطبق بنجاح في مدينة شيكاغو حيث تتوسط سكك قطارات النقل العام السريع عديدا من الطرق السريعة هناك. وأحد الجوانب التي تحد من تطبيق فكرة التنسيق هذه هو أن الطرق السريعة داخل المدن وغيرها القائمة حالياً ربما تكون موازية لخطوط حديدية قائمة تؤدي خدمة النقل.

وأحد الجوانب الأخرى لمواقع السكك الحديدية والطرق هو الرغبة في فصل خطوط السكك الحديدية والطرق غير المنسقة عن بعضها بمسافة كافية لقيام مناطق صناعية بينهما مما يتيح تطوير الصناعات على جانبي كل منهما. ويمنع عدم وجود مسافة كافية بين تلك الخطوط المتوازية للسكك والطرق أو يعيق إعاقة خطيرة سهولة الوصول للصناعات أو قيام الصناعات بين مساريهما. وقد اقترُحتْ مسافات فاصلة مختلفة مناسبة بين السكك الحديدية والطرق المتوازية تتراوح بين ٣٠٠ قدم إلى ونصف ميل (٩١ إلى ٨٠٤ أمتار).

أما خطوط الأنابيب فلديها قابلية الوضع داخل حرم السكة أو الطريق، وخصوصاً السكك الحديدية. ويوفر الطريق أو السكة المجاورة سهولة الوصول إلى خط الأنابيب خلال عمليات الإنشاء وخلال الصيانة بعد تشغيل الخط. وعند وجود منحنيات حادة في الطريق أو السكة، يمكن أن تمد الأنابيب بشكل مستقيم خارج حرم الطريق أو السكة لحين تجاوز تلك المنحنيات. ويجب إبقاء الأنابيب دائماً مدفونة بعمق كاف لتلافي انكسارها أو حدوث حرائق وانفجارات مدمرة في حال خروج القطار عن مساره واصطدامه بها.

سكك الخدمة Service Railroads. تشترك شركات السكك الحديدية فيما بينها في ملكية سكك للخدمة وتشغيلها تقوم بدور المحطة وتسهيل تبادل المعدات وتوفير مفاتيح بين السكك، وذلك لربط الشركات ببعضها لتقليل الازدحام وتفادي الازدواجية في الخدمات والمرافق في المناطق المزدحمة. كما يمكن أن تنشىء بلديات المدن أو إدارات الموانىء أو التجمعات الصناعية الخدمات نفسها، وذلك لإعطاء خدمات متكافئة غير منحازة لجميع الشاحنين في المناطق الحضرية أو الصناعية أوفي الموانىء.

وقد تؤدي شركة سكة حديد واحدة جميع خدمات المفاتيح لعديد من سكك الحديد الموجودة في ميناء أو في منطقة صناعية معينة، وتحصّل رسوم كبيرة لكل عربة تستعمل مفتاح السكة. ويمكن أن تؤدي سكك أخرى خدمة مشابهة في أجزاء أخرى من المدينة على أساس تبادلي. ومع الأسف، فإنه قد ينتج عن هذا النوع من الخدمة تقديم خدمة سيئة للشاحن الذي يعطي بضاعته لشركة سكة حديد أخرى غير التي تقوم بتوفير خدمة المفاتيح. وغالباً ما يصعب توجيه أصابع الاتهام لشركة خط المفاتيح بالقيام بذلك، ولكن، يمكن أن تظهر دلائل تشير إلى ذلك من خلال التأخر في حل الشكاوى والنزاعات والتأخر في تحريك العربات وصعوبة الحصول على كمية كافية من العربات خصوصاً في أوقات قلة توافر العربات. وغالباً ما يضطر الشاحن إلى اسناد خدمة الشحن الرئيسة للشركة التي تملك وتدير خطوط المفاتيح لتلافي تلك المشكلات. والهدف من خطوط المفاتيح سواء كانت مملوكة لشركات السكك الحديدية أو للبلدية أو الميناء أو مجمع صناعي هو لخدمة الناقلين والشاحنين المشتركين في الخدمة على حد سواء بالتساوي وبدون انحياز.

وتؤدي وسائل نقل أخرى مهام مشابهة من عدة أوجه لمهام سكك الخدمات، مثل زوارق القطر وخطوط الشاحنات المحلية وغيرها.

المعدّيات والعربات المسطحة والحاويات Ferry, Piggyback, and Containerization. هناك نوع من التنسيق أصبح شائع الاستعمال اليوم خصوصاً في السكك الحديدية، وهو خدمات المعديات والعبّارات التي تنقل وحدات لوسائل نقل أخرى مختلفة. فمثلاً، تنقل المعدّيات السيارات وعربات السكك الحديدية لاجتياز البحيرات والمسطحات المائية، وفي القنال الإنجليزي، تنقل السفن قطارات بأكملها بين لندن وباريس. كما تُنْقَلُ مقطورات الشاحنات على عربات حديدية مسطحة. وهناك خدمة مشابهة لنقل مقطورات الشاحنات على معديات مائية. ولكن الغالب في النقل المائي هو نقل الحاويات (والحاوية ما هي إلا مقطورة شاحنة ولكن بدون عجلات أو إطارات) حيث تحول الحاويات من عربات السكك الحديدية أو مركبات الطرق إلى السفن وبالعكس.

ويتم في خدمة نقل المقطورات على العربات المسطحة تحميل مقطورات الشاحنات الآلية بالبضائع أمام باب الشاحن أو مخزن الشحن، ثم تنقل بوساطة جرار الشاحنة إلى ساحة التحميل في السكك الحديدية، ثم توضع فوق عربة حديدية مسطحة ويجرّها القطار أثناء رحلتها إلى محطتها النهائية. وعند وصولها للمحطة النهائية تُنزل من العربة المسطحة ثم يوصلها جرار شاحنة إلى باب صاحب البضاعة عن طريق جرها عبر شوارع المدينة.

ومع ازدياد زمن رحلة القطارات التي تحمل سلعاً تجارية والتي تقترب من زمن رحلات قطارات الركاب أو تزيد عليها، فإن نقل تلك السلع في مقطورات على عربات حديدية مسطحة أسرع من نقلها في شاحنات على الطرق، في حين يظل الزمن الذي تقضيه في المحطات متساوياً من الناحية العملية. وبهذا، يتم تلافي كثير من التكاليف والمؤذيات المرتبطة بالنقل بالشاحنات أو في الأقل، تقليلها تقليلاً ملحوظاً، والتي تشمل الازدحام المروري ومشكلات السائقين والمخالفات المرورية وأخطار الحوادث والتأخيرات خلال المرور عبر القرى والمدن الصغيرة، ووجود قيود على أوزان الشاحنات وأبعادها. كما يساعد هذا التنسيق شركات الشاحنات، أيضاً، على تخفيض

أسطول الجرارات وسائقيها وصيانة الجرارات . ولتحقيق سرعة حركة القطارات المطلوبة ، يمكن استخدام القطارات المفردة لتلافي تأخيرات ساحات الفرز . وهناك أنواع خمسة معروفة عموماً لخدمة نقل المقطورات على العربات الحديدية المسطحة تشمل :

١ - تنقل سكة الحديد مقطورات شاحنات مملوكة لشركة نقل بالشاحنات ويتعامل الشاحن مباشرة مع شركة الشاحنات التي تتعامل بدورها مع سكة الحديد .

٢ - تنقل سكة الحديد مقطورات الشاحنات التي تملكها هي ، فقط ، وبالتالي ، فإن الشاحن يتعامل مباشرة مع سكة الحديد أو مع وكلائها .

٣ - تنقل سكة الحديد أي مقطورة شاحنة بغض النظر عن ملكيتها حتى لو كانت خاصة .

٤ - يتسلم وسيط أو مرحّل بضائع البضائع والشحنات ويحملها في مقطورات شاحنات يملكها ثم توضع على عربات حديدية مسطحة ويسلمها إلى سكة الحديد لنقلها على الخط الحديدي ، وفي هذه الحالة ، فإن الشاحن لا يتعامل مباشرة مع سكة الحديد ولكن مع طرف ثالث .

٥ - النوع الأول نفسه ولكن يضاف لذلك وجود تسعيرة للنقل المشترك على الطرق وعلى السكة الحديدية متفق عليها بين شركة النقل بالشاحنات وشركة السكة الحديدية ، ويمكن للشاحن أن يتعامل مباشرة مع أي منهما .

ومن الواضح أن مزايا عملية نقل مقطورات الشاحنات على عربات حديدية مسطحة والمذكورة أعلاه تعمل بشكل رئيس لصالح أصحاب الشاحنات . وتحقق السكك الحديدية دخلاً من نقل مقطورات الناقلين الآخرين والمقطورات الخاصة بالشاحنين ، وذلك عن طريق تحقيق بعض الدخل الذي كان سيذهب إلى منافسيها . وعندما تنقل شركة السكة الحديدية المقطورات المملوكة لها فإنها تحقق دخلاً أكبر . وعندما تُحمّل السلع التجارية في مقطورات مملوكة لشركة سكة الحديد وتنقل مباشرة إلى رصيف التحميل على عربات حديدية مسطحة لتكمل رحلتها إلى وجهتها ، فإنه يتم ، بذلك ، تلافي الأسلوب التقليدي للشحن الذي يشمل تجميع السلع في المحطة ثم نقلها إلى رصيف العربات وفرزها مرة أخرى حسب مقصدها والذي يأخذ وقتاً طويلاً ، وكان في السابق سبباً في تفوق النقل بالشاحنات من حيث زمن النقل . وبذلك ، يمكن تحقيق سرعة النقل على خطوط السكك الحديدية ، كما تنتفي الحاجة لمخازن الشحن في المدن التي تكلف كثيراً مما يؤدي إما إلى إغلاقها وإما إلى نقل ملكيتها للشركات التي تقدم خدمات الشحن بالمقطورات التي تحمل على العربات الحديدية المسطحة .

ومن جانب آخر ، فهناك طرق مختلفة لتحميل المقطورات وتنزيلها من عربات سكة الحديد . وللأعداد القليلة ، يمكن استخدام التحميل من مؤخرة العربة حيث يمكن دفع المقطورات إلى العربات أو سحبها منها بوساطة جرارات ، وذلك عبر منحدرات ثابتة أو متنقلة بين الرصفيات وأرضيات العربات الحديدية . كما تستخدم المنحدرات المتنقلة للحركة بين أرضيات العربات ، وهذا النظام بطيء ويفتقر للمرونة . ويصل طول منطقة التحميل للسكة الواحدة طول نحو ثماني عربات مقطورات مسطحة . ولا يمكن تنزيل المقطورات إلا عن طريق (عكس) طريقة التحميل نفسها . كما يمكن ، أيضاً ، مناولة المقطورات باستخدام الرافعات الرأسية مثل الرافعات الشوكية الضخمة أو الرافعات المتدلية من أعلى والتي تُطبق على جوانب المقطورة وترفعها فوق العربة الحديدية أو تنزلها منها .

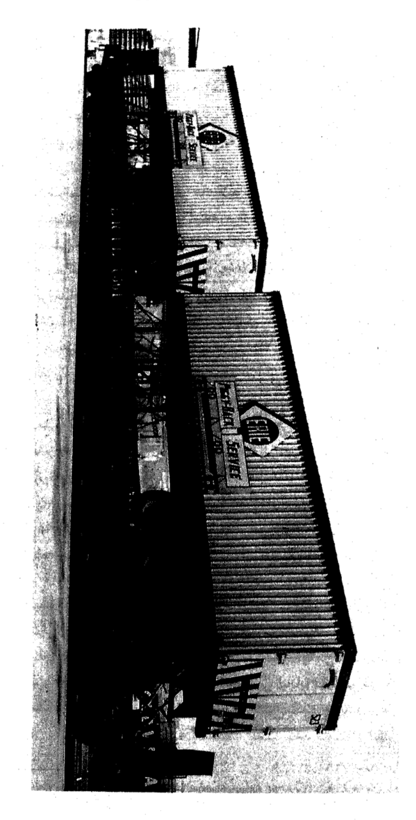
وعندما تكون أعداد المقطورات كبيرة، يستخدم لذلك أوناش متحركة فوق سكتين بينهما ممر فوق العربات ولها أذرعة قوية قادرة على تدوير المقطورات إلى الوضع المطلوب سواء كانت على العربات أو فوق الرصيف.

وفي بداية تطبيق هذه الفكرة، استخدمت المقطورات العادية بطول ٣٥ قدما (١٠,٧ متر) فوق عربات مسطحة بطول ٤٠ قدماً (١٢,٢ متر) مجهزة بأجهزة لتثبيت المقطورات. ولم تتضح اقتصادية هذه الفكرة الحقيقية إلا بعد تطوير العربات الحديدية التي تتسع لمقطورتين. واليوم، فإن العربة بطول ٨٥ إلى ٨٩ قدماً (٢٥,٩ إلى ٢٧,٤ متر) يمكنها حمل مقطورتين بطول ٤٠ قدماً للمقطورة الواحدة (أو مقطورات طول الواحدة ٣٥ أو ٤٥ قدماً). أما القطاع العرضي للعربات فهو، عادة ٨ × ٨,٥ قدما مربعا. ويساعد وجود فتحات طولية في بعض أرضيات العربات في توفير كل من الدعم للقاطرة وزيادة الخلوص لارتفاعها القياسي البالغ ١٢ قدماً و٦ بوصات (٣,٨ متر). ويجب أن تحتوي العربات على أجهزة تثبيت مستقرة وسريعة الاستعمال، وعناصر امتصاص الارتجاج، وأن تكون مطابقة لقواعد التحويل الخاصة باتحاد السكك الحديدية الأمريكي. انظر الشكل (١٠,٣).

ولنظام نقل المقطورات على العربات الحديدية المسطحة مشاكل تقنية واقتصادية تشمل: (أ) ربما تكون سعة المقطورة بطول ٣٥ إلى ٤٠ قدماً كبيرة جداً لبعض الشاحنين، لذا، فلابد أن تجمع شحناتهم مع شحنات أخرى من خلال رصيف مخزن شحن، كما أن المقطورات أكبر من أن توضع داخل الطائرات أو غيرها من السفن غير المصممة خصيصاً لذلك. (ب) قد يؤدي طول العربة المسطحة لخروجها عن السكة خصوصاً عندما تربط العربة المسطحة بعربة قصيرة ويتعرضان معاً لقوة طاردة مركزية في المنحنيات الحادة. (جـ) يشكل ارتفاع المقطورة مُقاساً من أعلى قضبان السكة البالغ ١٧,٥ قدم مشكلات في اجتياز الأنفاق وتحت الجسور المحدودة الخلوص الرأسي، مما حدا ببعض سكك الحديد لإجراء تعديلات في خلوص تلك المنشآت حتى يتحول النفق إلى قطع مفتوح. (د) مرور الهواء بقوة تحت المقطورة وفوق أرضية العربة يزيد مقاومة القطار. (هـ) لأن هذا النظام ينقل المقطورات مع حمولاتها، فإن الوزن الفارغ للمقطورة الذي ينقل بإستمرار يؤدي إلى انخفاض نسبة وزن الحمولة إلى الوزن الفارغ للقطار حتى نسبة ٣ : ١ أو أسوأ من النسبة الأصلية الممكنة وهي ٤ : ١.

وتحرك المقطورات من السفن وإليها إما عن طريق الرافعات أو بوساطة دحرجتها إلى داخل السفينة وخارجها أثناء التحميل والتنزيل.

النقل بالحاويات Containerization. يوجد حل للمشكلة (د) في الفقرة السابقة، وذلك باستخدام الحاويات (العبوات النمطية) وهي أوعية صندوقية شبيهة بالمقطورات ولكنها بدون عجلات ومكونات سفلية. وهي تأتي بمقاسات مختلفة حيث تتراوح سعاتها بين ٣٥٠ قدماً مكعباً و ٢٥٦٠ قدماً مكعباً (٩,٨ إلى ٧٢ مترا مكعبا)، ويتراوح طولها بين ٢٠ قدماً (٦,١ متر) و ٤٠ قدماً (١٢,٢ متر). وعادة ما تكون مساحة قطاع الحاويات بطول ٣٥ أو ٤٠ قدماً (١٠,٦٥ أو ١٢,٢ متر) أو ٨ × ٨ قدماً مربعاً (٢,٤٤ × ٢,٤٤ متر مربع). ويمكن أن تكون الحاويات أوعية صندوقية بسيطة توضع على أظهر الشاحنات أو على العربات الحديدية المسطحة أو داخل العربات الحديدية الصندوقية أو داخل مخازن السفن، أو توضع على الهياكل أو الأجسام المنفصلة للشاحنات وذلك لأغراض



الشكل (٣،١٠). منظر لمقطورتين محملتين على ظهر عربة حديدية مسطحة.

(Courtesy of The ERIE (Now Conrail) Railroad.)

النقل البري. ولا تستطيع الطائرات حمل الحاوية القياسية باستثناء الطائرات العملاقة، ولكن يمكن أن تنزلق الحاويات الأصغر داخل جسم الطائرة. وعند نقل السلع باستخدام الحاويات، فإنه لا حاجة لإعادة مناولة السلع بعد أن يغلق الشاحن الحاوية ويقفلها حتى يتم فتحها بوساطة صاحب البضاعة بعد وصولها. ولكن متطلبات الحكومة المختلفة والخاصة بفحص السلع عند عبورها الحدود الدولية بوساطة سلطات الجمارك تؤدي إلى إفساد هذه الميزة وتشكل عوائق إدارية لتطور هذه الخدمة في الشحن والتجارة الدولية. ولذا، فهناك حاجة لتسهيل تلك الإجراءات الإدارية وتقليل التأخير الناتج عنها. وتعد مثل هذه الخدمات من الباب إلى الباب المسمار الأخير في نعش عمليات مخازن الشحن الضخمة. والخطوة النهائية في هذا الاتجاه هي تطوير حاوية متعددة الأغراض أو عامة يمكن استخدامها لنقل الشحنات عبر السكك الحديدية أو الطرق أو السفن أو الطائرات. ويجب أن تكون للحاويات قوة إنشائية تساعدها على تحمل الصدمات المتكررة من عمليات الرفع والتنزيل.

وفي التجارة الدولية، أصبح استخدام الحاويات ممارسة واسعة الانتشار. وهناك بواخر سريعة مصممة خصيصاً للحاويات تبلغ قيمة الواحدة ٣٠ مليون دولار أو أكثر، وتبلغ تكلفتها التشغيلية مابين ٢٠٠٠٠ و ٢٣٠٠٠ دولار يومياً، وتحمل مابين ٥٠٠ و ١٢٠٠ حاوية مجهزة بأوناش ورافعات لمناولة الحاويات، وبمخازن ومنصات مصممة لهذا الغرض. كما توجد هناك موانئ خاصة بالحاويات مجهزة بالأرصفة ومرافق المناولة والسكك والرصفيات ومناطق الحجز والفرز.

الجسر البري Land Bridge. يعد مفهوم الجسر البري من أحدث الاختراعات في النقل بالحاويات، حيث تُحوّل الشحنات القادمة بالسفن من الشرق الأقصى (عبر المحيط الهادي) والمتجهة إلى أوروبا أو شرق الولايات المتحدة، على سبيل المثال، من السفن إلى السكة الحديدية لتنقل باستخدام نظام الحاويات المحمولة على عربات حديدية مسطحة عبر طريق بري قصير وسريع نسبياً نحو شواطئ المحيط الأطلسي أو خليج المكسيك، بدلاً من عبور السفن لقناة بنما. ويصل زمن انتقال بعض السفن من اليابان إلى شواطيء المحيط الأطلسي عبر القناة حوالي ٣٢ يوماً، ويقل الوقت عند إعادة شحن الحاويات على العربات الحديدية من الشواطئ الغربية للولايات المتحدة إلى الشواطيء الشرقية حتى ١٦ يوماً (النصف تقريباً).[٢]

ولا توجد عوائق تقنية لهذه الطريقة، ولكن عدم توازن حركة النقل تمثل مشكلة إعادة الحاويات الفارغة ومن سيدفع تكاليف ذلك ومن سيتولى الإجراءات الإدارية والتعامل مع مشكلات الجمارك والأنظمة الأخرى. ومن جانب آخر، فإن موانئ شرق الولايات المتحدة تعترض على هذه الطريقة لما تسببه لها من فقد عمليات مناولة السفن عندما تستعمل هذه الطريقة في الشحن من شرق الولايات المتحدة إلى اليابان مما يلغي دورها، وكذلك الحال لقناة بنما. وقد تسببت مشكلة الحاويات الفارغة في عدم اهتمام شركات السكك الحديدية الولايات المتحدة باستخدامها في النقل المحلي.

---

(٢) "PC Shapes Flatback's Third Generation", *Modern Railroads*, April 1973, p. 62.

كيف يحدث التنسيق How Coordination Occurs. بالرغم من أن التنسيق، عموماً، أمر محبذ، إلا أن عدداً من أساليب التنسيق الجيدة لم يَستخدم للأسباب التالية :

١ - شعور مالكي شركات النقل بأنهم سيفقدون مزاياهم التنافسية وكذلك شخصياتهم المميزة عند تخليهم عن طرقهم ومواقعهم وخدماتهم الخاصة ودخولهم في مرافق وخدمات مشتركة مع ناقلين آخرين.

٢ - وجود بعض القوانين الحكومية التي تمنع الشركات من التخفيض المفاجئ في أعداد العمال وتسريحهم، وبالطبع، فإن تقليص النفقات وخصوصاً العمالة هو أهم مزايا التنسيق، فإذا لم يستطع الناقل تسريح العمال فإن عوائد التنسيق لن تكون جذّابة.

٣ - نظراً لعدم تحقق الوفورات الكبيرة نتيجة التنسيق الفوري بالإضافة إلى وجود لا مبالاة في بعض القطاعات، فإن شركات النقل تنفر من التخلي عن طرقها الحالية وتتردد في قبول طرق جديدة لا تعرف وفوراتها بوضوح وتتطلب فترة من التجريب والتطوير.

ولذا، فإن معظم عمليات التنسيق المطبقة كانت نتيجة المنافع الذاتية، فمثلاً جاء إدخال شركات سكك الحديد خدمة الاستلام والتوصيل نتيجة المنافسة مع الشاحنات. و انبثقت إتفاقيات الاستخدام المشترك لحق الطريق والسكة من الرغبة في تقليل التكاليف أو الوصول إلى أسواق شحن جديدة أو لمصالح أخرى خاصة.

مـرافــق المحطــات
TERMINAL FACILITIES

قد يكون من المفيد، الآن، التطرق إلى تصميم محطات كل وسيلة نقل وتشغيلها بالتحديد حيث تنعكس خواصها التقنية. وتشمل محطات النقل النمطية كلاً من الموانئ والمرافئ، وساحات الشحن للسكك الحديدية، ومخازن الشحن وسقائف المرور العابر للسكك الحديدية والشاحنات والنقل المائي والنقل الجوي. وتستخدم مخازن الشحن لتجميع الكميات القليلة من المشحونات والمتجهة إلى الوجهة نفسها مع بعضها ثم تحميلها في (أو تفريغها من) المركبات الذاهبة إلى (أو القادمة من) تلك الوجهة.

مخازن الشحن Freight Houses. يعتمد تخطيط مخازن الشحن وتصميمها على حجم الشحنات التصميمية المتوقعة بالأطنان، ومن ذلك، يمكن تحديد مساحات المرافق اللازمة التي تشمل الأرضيات والأرصفة ومواقع العربات والسكك ومناطق استقبال الشاحنات للتحميل والتنزيل. ويمكن تحديد حجم الشحن التصميمي على أساس متوسط الحجم السنوي المتوقع مُعبراً عنه على أساس حجم الشحن اليومي أو لكل فترة عمل يومية (٨ ساعات)، ويضاف إلى ذلك عامل (يتراوح عادة بين ١٥٪ و ٢٠٪) لتغطية فترات الذروة والزيادات غير المتوقعة. كما يمكن، أيضاً، حساب حجم الشحن التصميمي على أساس أعداد السفن أو الشاحنات أو القطارات أو أي وحدات نقل أخرى معروفة السعة والمتوقع وصولها أو المجدولة. ويجب اختيار مواقع مخازن الشحن بالقرب من الطرق بين المدن وبعيداً عن الازدحام وقريباً من مصادر الشحن مع توافر إمكانية توسعها مستقبلاً.

أما المحطات التي تستعمل، فقط، لشحن السلع بالسكك الحديدية أو بالشاحنات دون الحاجة لتوفير مرافق تخزين، فإنها لا تحتاج، عادة، إلا إلى عرض كاف لاستقبال السلع وتحريكها إلى الجانب الآخر حيث تنتظر المركبات التي ستنقلها، والذي يتراوح بين ٣٠ و ٥٠ قدماً (١, ٩ إلى ٢, ١٥ متر). أما مخازن استقبال الشحن فعادة ما تسمح بتخزين السلع مجاناً لمدة تتراوح بين٢٤ و ٤٨ ساعة مما يتطلب توفير مساحات أكبر. ويمكن حساب المساحة على أساس عدد الأقدام المربعة لكل طن من السلع (أحياناً، تستخدم القيمة ١٣٠ قدماً مربعاً لكل طن) التي تعتمد على العلاقة بين وزن السلعة التي تجري مناولتها وحجمها ونوعها. ويستخدم للتصميم الإنشائي، عادة، أحمال حيّة (متحركة) تتراوح بين ٣٠٠ و ٥٠٠ رطل لكل قدم مربع. ويجب إضافة مساحة تتراوح بين ٨٠٪ و ٩٠٪ للممرات الجانبية بين أماكن التخزين وتستعمل النسبة المرتفعة (٩٠٪) عند استخدام شاحنات الرافعات الشوكية داخلها.

وترتفع أرصفة التحميل والتفريغ عموماً حوالي ٣ أقدام و ٩ بوصات (١٤, ١ متر) فوق قضبان السكة الحديدية و ٤ أقدام (٢, ١ متر) فوق أسطح رصفيات الطرق، في حين يترك ارتفاع قدره ٤ أقدام و ٦ بوصات (٣٧, ١ متر) لشاحنات التوصيل المحلية.

ويعتمد طول رصيف الشحن في السكك الحديدية على عدد مواقع العربات المطلوبة على أحد جانبي الرصيف وعرض منصة وقوف الشاحنات والمقطورات على طول الجانب الآخر. وبالنسبة لأرصفة الشحن الخاصة بالنقل بالشاحنات فقط فإن جانبي الرصيف يخصصان لمنصات الشاحنات والمقطورات. انظر الشكل (٤, ١٠). ويتراوح وزن العربة المحملة جزئياً مابين ٦ و ١٠ أطنان وضعف هذه القيمة لمقطورات الشاحنات المحملة جزئياً. وبقسمة عدد الأطنان اليومية أو فترة العمل على وزن العربة المحملة جزئياً، نحصل على عدد مواقع العربات اللازمة لكل يوم أو لكل فترة عمل. ومع ضرورة المحافظة على الحد الأدنى لطول منصة الشاحنات والمقطورات، يمكن البحث عن طول رصيف السكة الحديدية الأمثل الذي يعطي أقل تكلفة عن طريق تحقيق توازن اقتصادي بين التكاليف السنوية الرأسمالية (الإنشائية) والتشغيلية بتغيير طول الرصيف وما يقابله من عدد مواقع العربات لكل سكة وطول السكة.

أما طول منصة الشاحنات والمقطورات فيمكن تحديده بعدة طرق. فقد أوصى دليل اتحاد مهندسي السكة الحديدية الأمريكي باستخدام القيمة التصميمية ١٢, ١ طن (٠٢, ١ طن متري) لكل قدم من طول المنصة. وبالتالي، فإذا كان متوسط الشحن اليومي ١٠٠ طن (٩٠, ٩ طن متري) فإنه يتطلب نحو ٩٠ قدماً لطول المنصة أو عشرة أماكن طول منصة كل منها ٩ أقدام (٧٤, ٢ متر)، إذ تتطلب القوانين الحكومية الأمريكية ألا يزيد عرض الشاحنة على ٨ أقدام، واستخدامنا لـ ٩ أقدام يعطي مسافة قدم واحدة كخلوص جانبي بين أي شاحنتين لهما العرض الأقصى المسموح به. ولأجل السهولة والسلامة أثناء المناورة، يجب زيادة هذا العرض إلى ١٠ أو ١٢ قدماً (٣ أو ٧, ٣ متر)، وبالمقابل، يزيد طول منصة التحميل والتفريغ. وإذا كانت خدمة الشاحنات وصيانتها تتم عند الرصيف (مما يقلل من تأخيرها) فبالتالي، يحبذ استخدام ١٤ قدماً (٣, ٤ متر) لعرض مكان وقوف الشاحنة.

ويجب أن يكون طول مواقع المقطورات مساوياً للطول الإجمالي للشاحنة المزدوجة (الجرار والمقطورة) الذي يتراوح بين ٣٥ و ٥٥ قدماً (٧, ١٠ حتى ١٦,٨ متر) على أن يكون عرض الممر تقريباً بالطول نفسه المتوقع

الورشة
محطة الغسيل
منطقة مرصوفة
مضخات بنزين
جسور متحركة للمنصات
رصيف القدوم
رصيف التحويل
رصيف المغادرة
منطقة مرصوفة
منطقة مرصوفة
مستودع
مكاتب
ساحة مساندة
شارع
(أقدام) صفر ١٠٠ ٢٠٠ ٣٠٠
(أمتار) صفر ٣٠ ٦٠ ٩٠
مقياس الرسم

الشكل (٤،١٠). تصميم نموذجي لمخزن الشحن.

للمركبة، وذلك لتسهيل مناورتها أثناء الدخول والخروج. ويجب توفير مواقف للمقطورات بعيداً عن المنصة وكذلك منطقة لخدمة كل من الجرارات والمقطورات وصيانتها. كما قد يكون هناك حاجة للإضاءة والتسوير لأسباب أمنية. ويجب اختيار مواقع بوابات الدخول والخروج اختياراً يتلافى التعارض مع الحركة الكثيفة مع تلافي الحاجة لالتفاف الشاحنات إلى اليسار في وجه الحركة المعاكسة. كما يمكن، أيضاً، تجهيز المحطة بموازين لقياس أوزان الشاحنات.

ويجب تصميم النظام الإنشائي لسقف مخزن الشحن تصميماً يعطي أقل عدد من الأعمدة التي تعيق استخدام الأرضيات. وتكون الأبواب، عادة، من النوع المنطوي لأعلى أو المنزلق جانبياً، وإذا كانت الشاحنات لا تدخل إلى المخزن فيجب تغطية منصة التحميل والتفريغ بعرض يتراوح بين٨ و ١٠ أقدام لإعطاء مرونة لحركة الشحن وتحديد مواقع الشاحنات. ويجب أن يمتد التظليل مسافة ٣ أقدام فوق المقطورة لحماية السلع من أحوال الطقس أثناء التفريغ والتحميل. وتُحرّك السلع على الرصيف إما باستخدام العربات اليدوية أو العربات التي تجرها جرارات كهربائية أو شاحنات الرافعات الشوكية أو أسلاك السحب (أسلاك متحركة تثبت فيها العربات). ويفضل وجود ورشة لإصلاح البضائع والحاويات المتضررة.

ويتم القيام بعمليات استلام الشحنات وتوصيلها بإحدى طريقتين، إما عن طريق قيام الشاحنة بسلوك مسار محدد يومياً لجمع الشحنات واستلامها أو توصيلها، أو عن طريق نظام الاتصال حيث يقوم سائق الشاحنة باستلام تعليمات عن طريق الاتصال اللاسلكي المتكرر من مكتب الإشراف بالمحطة توجهه نحو مواقع استلام الشحنات. ويجب استلام الشحنات في المحطة قبل ساعة محددة من اليوم من أجل تحميلها في شاحنة التوصيل وتوصيلها في اليوم نفسه. وعادة ما تتم جدولة رحلات الشاحنات (وعربات السكك الحديدية) التي تقوم بتوصيل الشحنات القادمة في نهاية يوم العمل (بعد الظهر أو بداية المساء) لتقوم بخدمة التوصيل في صباح اليوم التالي.

سقائف الشحن العابر Transit Sheds. سقائف الشحن العابر ما هي إلا مخازن شحن خاصة بالشحن العام للنقل المائي. وتؤدي المهام نفسها التي تؤديها مخازن الشحن مع الإهتمام بتركيز الشحنات وتجميعها بشكل أكثر. وعادة ما تستغرق دورة إحلال الشحنات وتدويرها وقتاً أطول مع كون الشحنات أثقل وزناً. وتعتمد سعة الأرضيات اللازمة على عدد السفن المطلوبه خدمتها خلال فترة معينة. ويجب أن تكون الأرضيات كافية ليس، فقط، لاستيعاب الشحنات التي ستحمل في السفن المتوقع وصولها ولكن، أيضاً، لاستيعاب الشحنات التي ستنزلها السفن قبل تحميل شحنة جديدة. ويمكن تقليل الاحتياجات من المساحات المغطاة عن طريق توقع عدد أطنان الشحنات التي يمكن تخزينها في العراء على الأرصفة أو تلك التي ستّحمل مباشرة في عربات السكك الحديدية أو الصنادل أو الشاحنات دون الحاجة لتخزينها.

ويجب تصميم السقيفة التي ستستوعب سفينتين وزن كل منهما ٨٠٠٠ طن (سعة سفينة نقل البضائع العامة تتراوح بين ٦٠٠٠و ١٠٠٠٠ طن) بحيث تكون مساحات أرضياتها قادرة على استيعاب حتى ١٦٠٠٠ طن للشحن الصادر بالإضافة إلى مساحة لاستيعاب ١٦٠٠٠ طن أخرى ستنزل أولاً قبل تحميل الشحنة الصادرة (ناقصاً الوزن

الطني الذي يمكن أن يخزن في العراء أو الذي تتم مناولته مباشرة دون تخزين بوساطة ناقل آخر) . وبذا، يجب توفير مساحة لتخزين ٣٢٠٠٠ طن بمعدل يتراوح بين ٣٠٠و ٥٠٠ رطل من البضاعة لكل قدم مربع زائداً ٨٠٪ إلى ٩٠٪ من المساحة المشغولة بالشحنات لتوفير ممرات بينها. وتعطي العلاقة الحجمية البالغة ٤٠ إلى ٦٠ قدماً مكعباً لكل طن طولي مابين ٥٦ و ٣٧ رطلاً لكل قدم مكعب.

فمثلاً، عادة ماتوفر السقائف في الولايات المتحدة فترة مجانية للتخزين تصل إلى ٥ أيام لتجميع الشحنات الصادرة و ١٠ أيام لتوزيع الشحنات الواردة. ويحتاج كل رصيف سفينة مابين ٨٠٠٠٠ و ١٢٠٠٠٠ قدم مربع (٧٤٣٢ إلى ١١٠٤٠ متراً مربعاً) من سقائف الشحن العابر المغطاة، مع ملاحظة أنه لا يلزم تغطية جميع الشحنات تحت سقف السقيفة كما ذكرنا سابقاً.[٣]

وفي المثال السابق، إذا كان من المتوقع وصول سفينتين أخريين بعد خمسة أيام من تفريغ السفينتين الأوليين، فيجب أن تتسع السقيفة، أيضاً، لما تبقى من الشحنة السابقة التي لم يستكمل توزيعها بعد. أما البضائع التي يتجاوز بقاؤها في السقيفة فترة العشرة أيام المجانية، فإنها تنقل عادة إلى مستودع للسلع الذي يجب أن يكون قريباً بشكل معقول من السقيفة (وأحيانًا يكون ضمن مرافق السقيفة). وتشير الإحصائيات في الولايات المتحدة إلى أن نحو ٢,٥٪ إلى ٠,٥٪ من جميع البضائع العامة التي تتم مناولتها سنوياً تنقل إلى مستودع من سقيفة شحن عابر أو عبرها، و١٠٪ إلى ٢٠٪ من هذه البضائع تبقى في المستودعات بجانب الضفاف المائية لمدة تقارب ٣ أشهر.[٤]

الموانئ والمرافئ Ports and Harbors. توفر المرافئ مرسىً آمناً يحمي السفن من الأمواج والعواصف البحرية. وتشمل المواقع النموذجية للمرافئ مصبات الأنهار والخلجان الطبيعية وداخل مناطق الحيد البحري المرجانية، بالإضافة إلى الأحواض الصناعية المجهزة بكاسرات الأمواج. وعند تصميم المرافئ وتشغيلها يجب مراعاة مشكلات تغير المد والجزر والتيارات المائية والنحر وحركة الأمواج.

ويذكر أن عمق ٢٦ قدماً (٧,٩٢ متر) للمرفأ يعد مناسباً لنحو ٨٠٪ من الملاحة البحرية العالمية، في حين تتطلب بواخر الركاب الضخمة عمقاً قدره ٣٦ قدماً (١٠,٩٧ مترا) لرسوها. وتتطلب ناقلات الزيت وناقلات خامات المعادن العملاقة مابين ٤٠ إلى ٦٥ قدماً (١٢,١٩ إلى ١٩,٨ متر)، في حين تحتاج التصاميم المستقبلية المتوقعة لتلك السفن عمقاً قدره ١٠٥ أقدام (٣٢ متراً).

ويمكن للبواخر بغاطس عميق أن ترسو في المرافئ الضحلة عندما يكون المد عالياً ثم تنتظر لحالة المد المرتفع مرة أخرى لتغادر المرفأ. وهناك حل آخر لمشكلة المرافئ الضحلة يتمثل في رسو الباخرة بعيداً عن المرفأ في المياه العميقة وتفرّغ الباخرة أو تحمّل بوساطة سفن صغيرة أو صنادل خفيفة الوزن بغاطس ضحل. أما في حالة سفن الصهاريج التي لها غاطس عميق جداً، فهناك طريقة بديلة وذلك بإنشاء خزان أو صهريج عالي السعة تحت الماء

---

(٣) Maurice Grusky, "Harbor Engineering", in R.W. Abbett, American Civil Engineering Practice, Volume II, Wiley, New York, 1956, Chapter 21, pp. 78-81.

(٤) المرجع السابق نفسه.

على أرضية البحر مع استخدام عوامات طافية حوله لإرشاد السفن لتجنب الاصطدام به. ويمكن لناقلة الزيت، مثلاً، أن ترسو بجوار الخزان وتفرّغ حمولتها داخل الخزان المغمور. ويوصل الخزان بمرافق الشاطئ عبر خط أنابيب لإفراغ الشحنة من الخزان. وهناك بديل آخر وذلك بوضع مجموعة من العوامات الطافية حول محطة ضخ منشأة في المياه العميقة قرب المرفأ ويتم الضخ المباشر من السفينة إلى صهاريج التخزين على ضفة المرفأ.

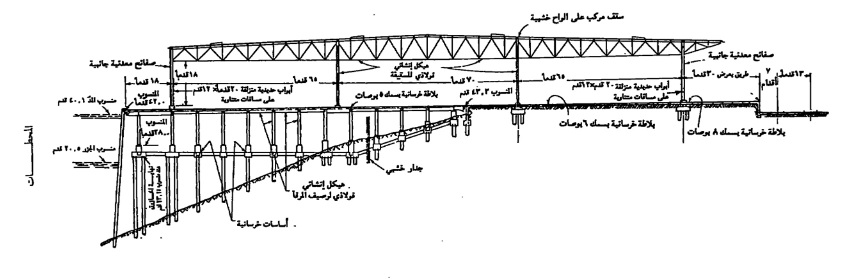
وعندما يسود مستوى مرتفع من المد والجزر بشكل غير معهود والذي يتجاوز مابين ٦ و ١٢ قدماً (١,٨٣ إلى ٣,٦٦ متر) في التفاوت، فإنه يمكن إنشاء أحواض المد والجزر، وهي أحواض محصورة باليابسة ومحاطة بحوائط الأرصفة. ولحوض المد والجزر بوابة في المدخل تغلق خلال فترات المد والجزر المنخفضة للحفاظ على مستوى الماء المرتفع ثابتاً في الحوض. ولا يسمح للسفن بالدخول والخروج إلا عندما تكون البوابات مفتوحة أثناء فترات المد والجزر المرتفعة. وعادة ما تنشأ حوائط الأرصفة المحيطة بالحوض بحيث يكون سطحها مرتفعاً بمسافة ٧ أقدام (٢,١٣ متر) فوق مستوى المد والجزر المرتفع في الربيع.

أما الميناء فيجمع بين الحماية التي يوفرها المرفأ ومرافق لتجميع البضائع التي يراد تحميلها وتركيزها، ولتحميل الشحنات وتنزيلها، ولتحويل الشحنات وتبادلها مع الناقلين الآخرين. كما يتوافر في الميناء مرافق يمكن للسفينة أن تتزود منها بالوقود والتموينات الأخرى وإصلاحها عند الحاجة.

والميزة الأساسية للميناء هي وجود رصيف ممتد داخله تنقل عبره البضائع من السفن وإليها. ويأخذ الرصيف عدة أشكال، فقد يكون منشأ فوق الماء على أعمدة أو على جانب اليابسة تماماً، أوينشأ عن طريق ردم الماء بالتراب ليمتد الرصيف داخل المياه. كما يمكن أن يكون جزء منه على اليابسة والجزء الآخر فوق المياه، وذلك يعتمد على طبوغرافية الشاطئ. كما أن معظم الأرصفة تحتوي على سقيفة للشحن العابر. وتشمل عناصر الميناء الأخرى ممرات بين السفينة والسقيفة فيها سكة حديدية واحدة أو أكثر وتكون مرصوفة لمركبات الطرق، وسكك حديدية ورصفيات داخل السقيفة أو في مؤخرتها، وأحياناً توجد أوناش متحركة على ساحة المرسى. ويتراوح عرض الساحة بين ١٨ و ٤٠ قدماً (٥,٤٩ و ١٢,١٩ متر). ويوضح الشكل (١٠,٥) قطاعاً عرضياً لرصيف ميناء نموذجي.

وتستخدم الأرصفة الممتدة في البحر والعمودية على خط الشاطئ عندما تكون المساحات على الشاطئ محدودة أو عندما تكون هناك مساحات واسعة في قناة المرفأ. وتستخدم الأرصفة على اليابسة الموازية لخط الشاطئ عندما تكون القنوات المائية ضيقة أو عندما تكون المساحات على الشاطئ متوافرة بكثرة. وتكون عملية رسو السفن أسهل بكثير عندما يكون الرصيف موازياً للمجرى المائي. وتعرف مزالق السفن بأنها المسافات المفتوحة بين الأرصفة الممتدة في البحر.

ويجب أن يبنى حساب سعة المحطة على نمط وصول السفن. وتعتمد أطوال الأرصفة على عدد السفن التي تريد الرسو في الميناء في أي وقت. ويجب تحديد الطول المعتاد للمراكب التي يجب استيعابها في كل حالة، ولكن المركب العادي الذي يزن ١٠٠٠٠ طن (٩٠,٧٠ طن متري) بطول ٥٢٠ قدماً (١٥٨,٥ متر) يلزمه رصيف بطول يبلغ ٦٠٠ قدم (١٨٢,٩ متر). ويتراوح طول سفن الحاويات بين ٥٠٠ و ١٠٠٠ قدم. ويبنى تصميم الموانئ في الولايات المتحدة على أساس وجود خمس سفن بضائع تُحمّل أو تفرّغ ٣٠٠ طن طولي في الساعة لمدة ٨ ساعات



الشكل (١٠,٥). قطاع عرضي لرصيف مرفأ وسقيفة مرور عابر.

(Robert W. Abbet, Editor, *American Civil Engineering Practice,* Vol. II, Wiley, New York, 1956, pp. 2182 and 21-83, Figure 67.)

عمل في اليوم لمدة ٢٠٠ يوم عمل في السنة.[٥] وكلما زاد طول الرصيف الممتد في البحر يجب زيادة عرضه لاستيعاب حركة الشحن المتجهة لخط الشاطئ من طرفه أو بالعكس. والقيم الموصى بها لعرض الرصيف الممتد في البحر بحيث ترسو سفينة واحدة على كل جانب من جانبيه هي ٣٥٠ قدماً (١٠٦,٧ متر) في الأقل، (للسفينة بطابق واحد) و ٤٥٠ إلى ٥٠٠ قدم (١٣٧ إلى ١٥٢ متراً) كقيمة محبذة. أما في حالة رسو سفينتين على كل جانب تزن كل منهما ١٠٠٠٠ طن (٩٠٧٠ طناً مترياً) فالحد الأدنى المطلوب للعرض هو ٤٥٠ قدماً (١٣٧ متراً)، ولكن يحبذ استخدام مابين ٥٠٠ و ٦٠٠ قدم (١٥٢ إلى ١٨٣ متراً). ويشمل هذا العرض للرصيف ممراً بعرض يتراوح بين ٣٠ و ٤٠ قدماً (٩,١ إلى ١٠,٢ متر). أما الأرصفة الهامشية فيجب أن يكون عرضها شبيهاً بتلك المستخدمة للأرصفة الممتدة في البحر لتخدم سفينتين.[٦]

ومن المرافق الضرورية للموانئ توافر سهولة الوصول إلى وسائل النقل البري من أجل تجميع الشحنات وتوصيلها بما في ذلك ساحات الفرز المساندة للسكك الحديدية أو للشاحنات. ويجب أن تكون الموانئ قريبة من الطرق والخطوط الحديدية الرئيسة. كما يجب توافر مرافق الإمداد والتموين بالوقود والطعام وخدمات الإصلاح.

المكننة Mechanization. كانت عمليات تحريك البضائع في الماضي تتم يدوياً من السفن إلى الشاطئ عبر ممرات الأرصفة وفي سقائف الشحن العابر وفي مخازن الشحن الخاصة بالسكك الحديدية أو الخاصة بالشاحنات. أما اليوم، فقد استغني عن معظم تلك الأعمال الشاقة وتم تقليل الحوادث والأضرار للبضائع وزادت السرعة والكفاءة الاقتصادية لعمليات التحميل والتفريغ عن طريق المكننة. ولاتزال العربات اليدوية سائدة في مخازن البضائع الصغيرة جداً، ولكن، في العديد من المخازن وسقائف الشحن العابر، تستعمل شاحنات صغيرة يسحبها جرار للحركة داخلها. كما أن استعمال المنصات النقالة الخشبية أو المعدنية التي يمكن أن ترص عليها السلع بحيث تتم مناولتها كوحدة واحدة، ساعد على استخدام شاحنات الرافعات الشوكية لتحريك البضائع ورصها عمودياً فوق بعضها مما يحقق استعمالاً أفضل لأرضيات التخزين. وعندما تكون هناك كميات كبيرة من البضائع لتحريكها تحريكاً دائماً، فإنه يمكن استخدام السيور المتحركة الميكانيكية لتحريك عربات النقل فوقها في مسار مغلق، أو استخدام سلسلة فولاذية تتحرك حركة مستمرة موضوعة إما فوق أرضية المخزن أو تحتها ولها خطافات يمكن أن توصل بها مقابض عربات النقل، وتحرك العربة على طول السلسلة إلى موقعها المطلوب حيث ينزع المقبض من السلسلة.

وعندما تكون البضائع متجانسة في أشكالها أو ثقيلة في أوزانها فيمكن استخدام أوناش أو رافعات خاصة تتحرك على سكة حديدية بسعة تتراوح بين ٥ و ٢٠ طنا (٤,٥ إلى ١٨,١ طناً متري) للرافعة الواحدة. وبالنسبة للأوزان الثقيلة جداً غير المعتادة، يمكن استخدام أوناش تتحرك بجرارات تصل سعتها حتى ٥٠ طناً (٤٥,٣٥ طن متري). وتستطيع قاطرات الأوناش التي تسير على سكة حديدية رفع أوزان تصل إلى ٢٥٠ طناً (٢٢٧ طناً مترياً). وفي قليل من الموانئ الضخمة، توجد أوناش عائمة لها السعة نفسها.

---

(٥) المرجع السابق نفسه.

(٦) المرجع السابق نفسه.

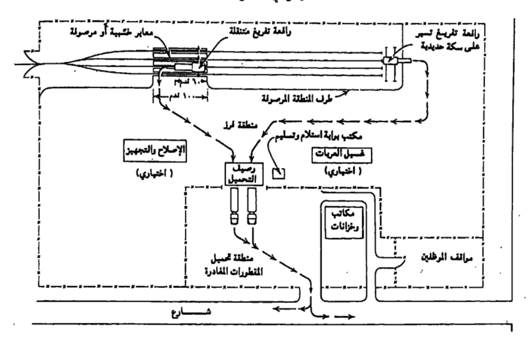
محطات النقل بالمقطورات على العربات المسطحة TOFC Terminals. تصمم هذه المحطات، سواء أكانت مستقلة لوحدها أو جزءاً من مجمع ميناء الحاويات، حسب طريقة التحميل والتنزيل المراد استخدامها. ففي حالة التحميل الطرفي، يجب أن لا تزيد سعة السكة على ٨ عربات حديدية تتسع الواحدة منها لمقطورتين، إذ إن السكك الأطول تزيد طول حركة الجرار. ويساعد خفض مستوى السكك تحت سطح الأرض على تقليل درجة ميل الاقتراب، ولكن ذلك قد يوجد مشكلة في تصريف المياه. ويجب أن تميل السكك باتجاه نهاية المنحدر مع تثبيت العربات في مواقعها تحت تأثير الهواء المضغوط لمنع حركتها. وبغض النظر عن نظام التحميل، يجب تجهيز السكك بمقابس كهربائية أو هوائية لاستعمالها في تزويد مفاتيح الربط بالطاقة لتثبيت المقطورات على أرضية العربة المسطحة. ويساعد وجود ممرات للمشي بين السكك على مستوى أرضية العربات المسطحة في تسهيل عمليات ربط المقطورات وفكها.

وعند استعمال عمليات التحميل والتنزيل بالرافعات الونشية المتحركة، يجب أن يكون الونش ممتداً بعرض سكتين، في الأقل، بينهما ممر بعرض ٤٠ قدماً (١٩, ١٢ متر). وعادة ما يتم تخطيط المسار الذي تتحرك عليه الإطارات المطاطية لعجلات الونش على أرضية الرصف. انظر الشكل (٦, ١٠). وتصمم مواقف المقطورات بزاوية ميل قدرها ٤٥ أو ٦٠ درجة لتسهيل وقوفها. ويجب أن تكون جميع الممرات وطريق الونش والمواقف مرصوفة لتسهيل العمليات تحت جميع ظروف الطقس. كما يجب أن تكون موازين الشاحنات كافية الطول لاستيعاب المقطورات بطول ٤٥ قدما (٧٢, ١٣ متر) للواحدة. وتشمل المتطلبات الأخرى تسوير المحطة لمنع السرقات وتزويدها بالإضاءة للتشغيل الليلي وغيرها. كما يجب أن يكون موقع المحطة سهل الوصول من الطرق الرئيسة وساحات السكك الحديدية وإليها، وبعيداً عن مناطق الازدحام المروري في فترات الذروة التي يمكن أن تؤثر على الجداول الزمنية لحركة الشاحنات. وأخيراً، يجب توفير أماكن لوقوف كل من المقطورات المحملة والفارغة.

موانىء الحاويات Container Ports. يتم تركيز مرافق تبادل المقطورات والحاويات بين السفن ووسائل النقل البرية في موانئ الحاويات. وهذه مجهزة بمرافق تشمل رصيفًا، ومعدات الرافعات والتبادل، ومنحدرات تحميل المقطورات المحمولة على عربات مسطحة وتنزيلها، ومناطق لتخزين الحاويات والمقطورات وفرزها.

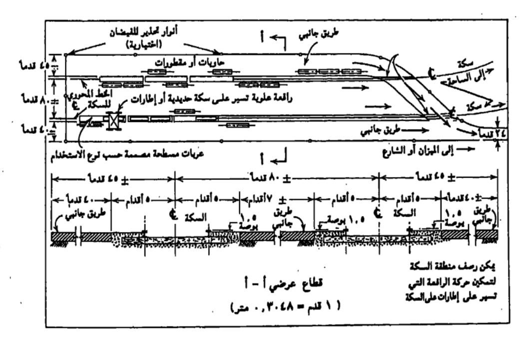
ويمكن أن تكون سفن الحاويات مجهزة برافعات، ولكن عادة ما يكون الميناء مجهزاً بأوناش ورافعات تسير على كمرات علوية قادرة على الحركة على طول الرصيف للتحميل والتنزيل. ويمكن مناولة السفن المصممة خصيصاً لنقل المقطورات أو الحاويات الموضوعة على هياكل باستخدام طرق الدحرجة على منحدرات مفصلية أو ممرات متنقلة. ويساعد وجود السكة الحديدية في ممر الرصيف على تبادل الحاويات أو المقطورات مباشرة إلى عربات السكك الحديدية المسطحة أو الشاحنات في منطقة الممر. وتتفاوت سعات سفن الحاويات البالغة سرعتها حتى ٣٣ عقدة بحرية من ٢٠٠ إلى ١٢٠٠ حاوية، وأطوالها من ٤٥٠ إلى ٩٥٠ قدماً (١٣٧ إلى ٢٩٠ متراً).

وتعتمد سعة الميناء على كل من الجداول الزمنية للسفن وسعتها ومعدل مناولة البضائع. ويمكن استخدام قيمة متوسطة لمعدل المناولة يتفاوت قدرها من ٢٠ إلى ٣٠ حاوية في الساعة (٢ إلى ٣ دقائق لكل وحدة)، والقيمة



الشكل (٦,١٠أ). مسقط أفقي لمحطة مقطورات أو حاويات محمولة على عربات حديدية مسطحة.

(*Manual of The American Railway Engineering Association,* Chapter 14 "Terminals," 1972, p. 14-3-23 and Bulletin November-December, 1975, p. 124..)

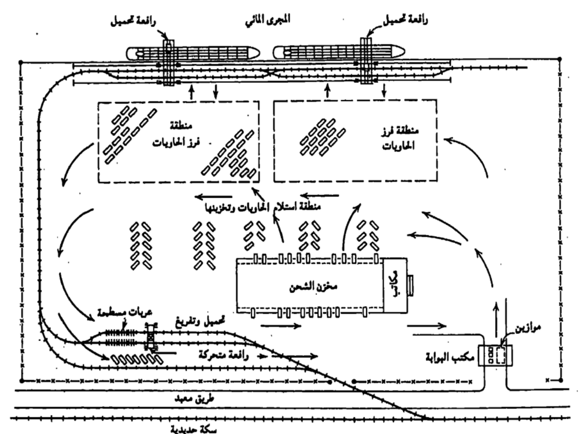


الشكل (٦,١٠ب). تصميم مقترح لرصيف محطة مقطورات أو حاويات محمولة على عربات حديدية مسطحة.

(*Manual of The American Railway Engineering Association,* Chapter 14 "Terminals," 1972, p. 14-3-23.)

الأقل (٢٠ حاوية في الساعة) أكثر واقعية نظراً لحدوث التأخيرات، عادة. ويعتمد عدد أرصفة الميناء المطلوبة على أحجام السفن والجداول الزمنية لوصولها ومغادرتها.

ويمكن تحديد المساحات اللازمة للتخزين ولساحات الفرز على أساس أن مساحة الحيز الذي تشغله الحاوية الواحدة هو ٨ أقدام مربعة (٢,٤٣ متر مربع)، وأن طول الحاوية يتفاوت من ٣٥ إلى ٤٠ قدمًا (١٠,٦٧ إلى ١٢,٢ متر) سواء أكانت واحدة أو اثنتين أو ثلاثًا مرصوصة فوق بعضها. ويجب إضافة مابين ٨٠٪ و ٩٠٪ من المساحة لتوفير ممرات وفراغات بين الحاويات. وتحّرك الحاويات داخل الساحات عن طريق وضعها على هيكل حديدي يجره جرار أو باستخدام شاحنات رافعات شوكية أو بالأوناش. ويمكن أن يتم جرد الحاويات باستخدام ماسحات الكترونية متنقلة تستطيع تمييز العربات آلياً، وتقوم بالتنقل فوق مواقف الحاويات التي تحتوي على رموز خاصة بكل منها. انظر الشكل (٧, ١٠).



الشكل (٧, ١٠). ميناء الحاويات.

وتشمل المرافق الأخرى ساحة لتحميل المقطورات المحمولة على عربات مسطحة وتنزيلها، والتسوير والإضاءة لمنع السرقات وللعمل ليلاً، وموازين للشاحنات ومكاتب إدارة الميناء.

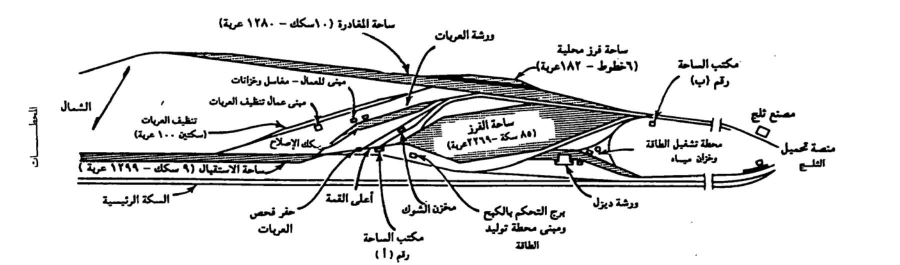
كما يجب توافر عدد مناسب من هياكل الشاحنات الحديدية التي يمكن أن توضع فوقها الحاويات لتحريكها داخل الميناء باستخدام الجرار، أما المقطورات فتسير على عجلاتها الخاصة. كما يمكن، أيضاً، أن تستخدم شاحنات الرافعات الشوكية أو الرافعات العلوية بالأوناش كطرق بديلة لنقل الحاويات ورصها فوق بعضها على مستويين أو ثلاثة مستويات رأسية.

وكلما زادت حركة الشحن بالحاويات في الميناء زادت الحاجة لتوفير مزيد من المساحات للتخزين والفرز. كما تزيد الحاجة، أيضاً، لمزيد من الجرارات والهياكل وشاحنات الرافعات الشوكية، وزيادة مسافة تحريك الشحنات. ولمواجهة احتمالات الزيادة في التكلفة المرتبطة بتلك الزيادة في الأراضي، يمكن اللجوء لأساليب تقلل من متطلبات المساحات والمسافات، وقد اقترح لذلك طريقة التخزين الآلية للحاويات التي تتكون من هيكل إنشائي متعدد الأدوار توضع الحاويات في فتحات خاصة فيه لتخزينها وتسترجع عن طريق نظام مصاعد يتحرك آلياً عن طريق توجيهه بالحاسوب. ويستطيع الهيكل رص ١٠ مستويات للحاويات فوق الأرض مما يعطي كثافة عالية في استخدام الأرض. ويذكر أن أحد التصاميم من هذا النوع قد قدرت سعته التخزينية بـ ١٠٠٠ حاوية بطول ٤٠ قدما (١٩ , ١٢ متر) للواحدة و ٢٠٠٠ حاوية بطول ٢٠ قدما (١٠ , ٦ متر) للواحدة، (أي المجموع ٣٠٠٠ حاوية)، ولا يتطلب سوى ٥ , ٣ فدان.[٧]

ساحات السكك الحديدية Yards. تخدم ساحات السكك الحديدية أغراضاً متعددة تشمل تخزين العربات والشحنات وحجزها وإعادة توجيهها عند تغير ملكيتها أثناء النقل، وتسليم البضائع للعامة ومساندة الأنشطة الصناعية والنقل المائي ومفاتيح التحويل بين السكك. وأهم أنواع الساحات هي ساحات الفرز والتصنيف. ووظيفتها فرز العربات المحملة وتركيزها وتجميعها حتى تتجمع عربات كافية لملء قطار. ويشمل الفرز استقبال القطارات الواردة وفك عرباتها وفرزها وتصنيفها وترتيبها في قطارات أخرى صادرة لإكمال رحلتها على الخط الحديدي أو تحويل العربات إلى ساحات أخرى أو شركات سكك حديد أخرى، أو فرز العربات لتوصيلها محلياً في محطتها النهائية. وتعد الوظيفتان الأخيرتان من عوامل التوزيع. وعادة ما تتكون ساحة الفرز الكبيرة من ثلاث وحدات هي ساحة الاستقبال التي يتم فيها استقبال القطارات الواردة من الخط الرئيسي استعداداً لفرزها، وساحة الفرز الأساسية التي يتم فيها ترتيب العربات أو فرزها إلى مجموعات كل مجموعة لها الوجهة نفسها، وساحة المغادرة التي يتم فيها ترتيب العربات في المجموعة الواحدة وربطها في القطارات الصادرة، وتحجز القطارات هناك حتى مواعيد قيامها. وفي ساحات السكك الحديدية الصغيرة، تجمع الأجزاء الثلاثة في الساحة العامة نفسها التي تحتوي على عدة سكك داخلها توزع ا لأغراض الاستقبال والمغادرة. انظر الشكل (٨ , ١٠).

---

(٧) "Vertical Storage and Retrieval of Containers", by Alfred Hedifine, President, Brinckerhoff, Quade, and Douglas, American Import and Export Bulletin, No. 1, Vol. 73, July 1970.



الشكل (٨,١٠). مسقط أفقي لساحة فرز.

(Courtesy of *Railway Signalling and Communication*, Simmons-Board Man Publishing Co., New York, March 1955.)

وتعتمد أطوال السكك في ساحات الاستقبال والمغادرة على عدد العربات للقطار في المتوسط، والطول الأقصى للقطارات (بمعدل ٥٠ قدما لكل عربة) زائداً طول القاطرة (٥٠ إلى ٦٠ قدما للقاطرة الواحدة) وطول عربة استراحة ملاحي القطار في المؤخرة (٤٠ قدما)، ويضاف إلى ذلك طول ٢٠٠ إلى ٣٠٠ قدم كعامل سلامة عند الحاجة للتوقف. ويعتمد عدد السكك، جزئياً، على معدل وصول القطارات الواردة وعلى معدل الفرز، أي المعدل الذي تُنقَل فيه العربات من ساحة الاستقبال وترتب وتُفرز إلى مجموعات ثم تجمع في القطارات في ساحة المغادرة. ويتم التجميع النهائي للقطارات عن طريق توحيد مجموعات العربات القادمة من مختلف سكك المحطة والتي لها الوجهة نفسها في قطارات.

ويتم في ساحة الفرز تخصيص كل سكة للعربات المتجهة إلى وجهة معينة، ولا يسمح بدخول عربات أخرى غير التي تقصد تلك الوجهة. وتختلف معدلات الفرز حسب طريقة التشغيل، ففي الساحات الصغيرة تُفرز العربات بالمناورة الأفقية حيث يقوم المحرك بدفع عدد من العربات أو جرها بين سكك الفرز المختلفة التي تكون في مستوى أفقي تقريباً، ويصل معدل الفرز مابين ٣٠ و ٦٠ عربة في الساعة. أما ساحات الفرز التي تعمل بتثاقل الجاذبية (منحدرة) والتي تستعمل قمة صناعية موضوعة بين ساحة الاستقبال وساحة الفرز وتدفع العربات منفردة إلى أعلى القمة المرتفعة بسرعة حوالي ٣ أميال/ ساعة لتكسب العربات فوقها طاقة وضع تتحول بانحدار العربات من فوق هذا الارتفاع إلى طاقة حركة تستطيع بها العربات التغلب على مجموعة المقاومات التي تعترض سيرها في ساحة الفرز حتى تقف على المسافة المحددة بالسكة المقررة لها. ونادراً ما تستخدم ساحات التثاقل بالجاذبية إذا كانت أعداد العربات المطلوب فرزها تقل عن ١٥٠٠ عربة.

وفي الساحات التثاقلية بالجاذبية التي تشغل يدوياً (والتي لا تستعمل اليوم) يقوم عدد كبير من العمال بصعود العربات والتحكم بسرعتها أثناء حركتها على سكة الفرز بذراع كبح يدوية وإيقافها في الأماكن المخصصة لها. ويصل معدل الفرز بالتثاقل لهذه الساحات المشغلة يدوياً مابين ٦٠ و ١٢٠ عربة في الساعة.

أما عند تشغيل تلك الساحات تشغيلاً نصف آلي فيتم تركيب مكابح على بدايات سكك فرز المجموعات، وتقوم المكابح بالتحكم في سرعة العربات عن طريق ضغط نعلي المكبح إما كهربائياً أو هوائياً على كل من جانبي العجلة عند مرور العربة خلال المكبح. ويقوم موظفو برج المراقبة بتقدير السرعات، ومن خلال أزرار معينة أمامهم، يمكنهم التحكم بكمية ضغط الكبح اللازم. وفي هذا النوع من التشغيل، تتراوح معدلات الفرز بين ١٠٠ و ١٨٠ عربة في الساعة.

وتستعمل الساحات التي تُشغّل آلياً بالكامل أجهزة إليكترونية أو الرادار لقياس وزن وسرعة كل عربة مفردة وسرعتها، وتقوم آلياً بتسليط قوة الكبح المناسبة، في حين يأخذ الحاسوب الذي يتحكم في العمليات في الاعتبار درجة الحرارة السائدة وتأثير الرياح ومقاومة الدروج، ويحدّد المسافة اللازمة لدروج العربة حتى تتصل بالعربات الواقفة على سكة معينة والتي سبق فرزها. وتصل سرعة الاصطدام الآمنة لاتصال العربة مع العربات الواقفة دون إحداث أي أضرار للعربة أو محتوياتها حوالي ٤ أميال/ ساعة. وكل ما يحتاج المشرف على تشغيل الساحة عمله هو الضغط على الزر المناسب الذي يشير للسكة التي يجب توجيه العربة نحوها، وذلك لكل عربة على حدة.

وبعد ذلك، يدير جهاز التحكم الإلكتروني مفاتيح السكة لتحويل العربة إلى السكة المطلوبة. وتتميز بيانات آخر التصاميم الحديثة بقدرتها على إدخال بيانات مكونات القطار الذي سيصل من العربات، والذي ربما يكون على بعد مئات الأميال، في جهاز الحاسوب الآلي، ويقوم جهاز التحكم آلياً بإعداد قوائم كاملة بمفاتيح السكك المطلوبة وتوزيعها مع فرز العربات المختلفة الوجهات إلى سكك خاصة بكل وجهة. وتصل معدلات الفرز في التشغيل الآلي لساحات الفرز مابين ٢٠٠ و ٣٠٠ عربة في الساعة إذا لم يكن هناك تأخيرات لأسباب خارجية. ويجب الإشارة إلى أن المعرفة التقنية متوافرة حالياً لتشغيل القاطرات التي تدفع العربات فوق القمة الصناعية بين ساحة الاستقبال وساحة الفرز، ثم فصل القاطرة عن العربات عن طريق التحكم الآلي عن بعد، وبذا يمكن الاستغناء التام تقريباً عن العنصر البشري في هذه المرحلة من العمليات.

وتعدّ أنظمة الاتصالات الشاملة جزءاً حيوياً من أجزاء عمليات الساحات، وتشمل وسائل الاتصالات المستخدمة حالياً الهاتف ومكبرات الصوت وأجهزة اللاسلكي الثنائية والمبرقة الكاتبة والتلفزيون والأنابيب الهوائية وغيرها. وباستخدام المبرقة الكاتبة، ترسل قائمة بمكونات القطار من محطة انطلاقه إلى المحطة المتوجه إليها من أجل إعداد قوائم بتبادل العربات ومفاتيح السكك اللازم ضبطها ومكونات القطارات الجديدة من العربات اللازم تجميعها، وذلك قبل وصول القطار بوقت مسبق.

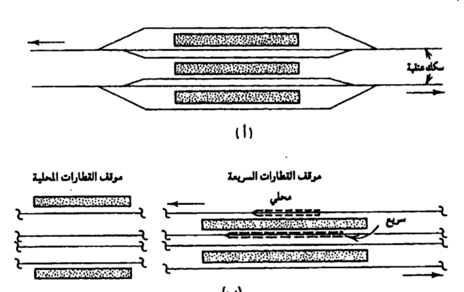
وتشمل مشكلات مواقع الساحات في المناطق الحضرية مدى قرب الساحة من مصادر الشحن والمجمعات الصناعية والنقل المائي ومدى قربها من خطوط السكك الأخرى وقيمة الأرض ومدى توافرها والضرائب وفرص التوسع مستقبلاً. ومن الواضح أهمية تلك العوامل، ولكن الأهم من ذلك في عمليات السكك الحديدية هو موقع الساحة بالنسبة للساحات الأخرى في نظام النقل الحديدي المعين، حيث تبرز هنا مشكلات أنماط الشحن والجدولة الزمنية وكم تبعد الساحة عن الوجهة النهائية، وإلى أي حد من التفصيل يجب أن يتم الفرز . . والتوجه الحديث هو إنشاء عدد قليل من الساحات في مواقع استراتيجية في الشبكة ومجهزة بأحدث وسائل مناولة العربات.

محطات ركاب السكك الحديدية Rail Passenger Stations. يحتوي مجمع محطة ركاب السكك الحديدية على أرصفة وسكك الأرصفة وممرات ومداخل للأرصفة ومكاتب لبيع التذاكر ومرافق لإستقبال العفش وقاعات انتظار ودورات مياه وغيرها من وسائل الراحة الأخرى مثل المطاعم ومحلات بيع الكتب والصحف والكماليات ومواقف السيارات وممرات مظللة أو أنفاق للمشاة تصل المحطة بالشوارع ووسائل النقل الأخرى.

وتنقسم محطات ركاب السكك الحديدية إلى نوعين عامين هما المحطات المتوسطة والمحطات النهائية. فالمحطات المتوسطة أو العابرة هي في الواقع محطة على الطريق تستمر القطارات الواردة في حركتها عبرها إلى المحطات التي تليها بعد تحميل الركاب وتنزيلهم فيها. أما المحطات النهائية فهي التي تنتهي عندها حركة القطارات وتجمع بعض المحطات بين السكك العابرة والسكك النهائية.

وفي المحطات القليلة الحركة، تكون الأرصفة، عادة، مجاورة للسكك الرئيسة. أما عندما تكون الحركة كثيفة خصوصاً في حالة خدمة قطارات الضواحي، فيتم إنشاء سكك فرعية تخدم الأرصفة وتكون متفرعة من

خط السكة الرئيس. وتسمى السكك التي تربط سكك الأرصفة بالسكك الرئيسة للخط «السكك العنقية». وكقاعدة عامة، تكون النسبة بين عدد السكك العنقية وعدد سكك الأرصفة التي تخدمها ٥, ٢ : ١ أو ٣ : ١ . انظر الشكل (٩, ١٠ أ).



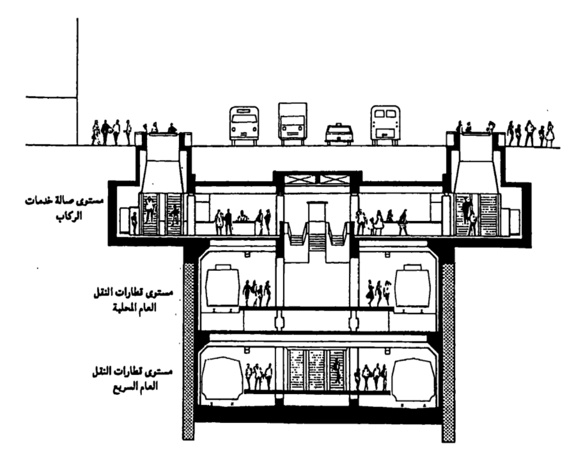
(أ) السكك والأرصفة للقطارات «العابرة» (ب) خدمة النقل العام السريع والمحلي

الشكل (٩, ١٠). سكك الأرصفة.

ويجب توافر عدد كاف من سكك الأرصفة لخدمة جميع القطارات المجدولة الوصول أو المغادرة في وقت معين، ويضاف إلى ذلك عدداً إضافي قليل من سكك الأرصفة للإحتياط للقطارات غير المجدولة أو للقطارات الإضافية. كما يمكن أن تحجز بعض السكك لوقوف بعض العربات التجارية والمعدات الخاصة الأخرى.

وفي المحطات العابرة أو محطات النقل العام السريع، يمكن أن يوضع رصيف الركاب بين سكتي الخط بحيث تكون كل سكة مخصصة للحركة في أحد الاتجاهين. كما يمكن، أيضاً، أن يستخدم رصيفان للركاب يخدم كل منهما الركاب الذاهبين في الاتجاه، نفسه، وفي هذه الحالة، تكون السكك محصورة بين الرصيفين. ويوضح الشكل (١٠, ١٠) قطاعاً عرضياً لمحطة ركاب في قطارات الأنفاق في مدينة سان فرانسيسكو الأمريكية؛ لاحظ وجود طابقين من السكك الحديدية والأرصفة التي تخدمها.

أما محطات النقل العام السريع ذوات الحركة الكثيفة والتي تحتوي على نمطين من أنماط التشغيل أحدهما قطارات سريعة والآخر قطارات محلية، وكل منهما يسير على سكك منفصلة، فلها محطات محصورة بين كل زوج من خطوط الخدمة المحلية والسريعة. وبذا يمكن للركاب التحوُّل من القطارات المحلية إلى القطارات السريعة (وبالعكس) عبر الرصيف بكل سهولة في المحطات التي تقف فيها القطارات السريعة.



الشكل (١٠,١٠). مخطط لمحطة نموذجية تقع في قطار الأنفاق في شارع ماركت في مدينة سان فرانسيسكو الأمريكية حيث تلتقي خدمة القطارات المحلية مع خدمة القطارات السريعة للنقل العام.

(Courtesy of *Notes*, Spring 1975, p. 1, Parsons, Brinckerhoff, Quade, and Douglas.)

ويعتمد الحد الأدنى لطول الرصيف على طول أطول قطار متوقع (طول العربة × عدد العربات + طول القاطرة)، ويضاف إلى ذلك طولا عربتين أو أطوال ثلاث عربات إضافية للحالات الطارئة ولتوفير عامل سلامة عند توقف القطار. ويمكن زيادة الطول إذا كان من المتوقع مستقبلاً استقبال قطارات أطول.

ويتفاوت عرض الرصيف من ٢٠ قدماً (٦,١ متر)، إذا كانت شاحنات نقل عفش الركاب تستخدم الرصيف، أيضاً، إلى ١٣ قدماً (٣,٩٦ متر) إذا كان الرصيف للركاب، فقط. ويمكن أن توجد أرصفة أعرض مستخدمة فعلياً خصوصاً في خطوط النقل العام السريع بالقطارات.

وتبرز في المحطات النهائية مشكلة فصل القاطرة عن العربات ونقلها إلى أماكن الخدمة الأخرى. ويمكن تحقيق ذلك بمد السكة مسافة إضافية خلف نقطة التوقف وإنشاء تحويلة تسمح بتحريك القاطرة ونقلها إلى حوش القاطرات. وفي عدد من المحطات الأوروبية والبريطانية، تستخدم طاولة تحويل لتحريك القاطرة إلى السكك المجاورة.

ويمكن أن تكون الأرصفة منخفضة بمنسوب القضبان أو مرتفعة على مستوى أرضيات العربات. ويفضل النوع الأخير عندما تكون أعداد الركاب الصاعدين والنازلين كبيرة. وعند استخدام الأرصفة المنخفضة التي على مستوى السكة، فإن معدل زمن الصعود والنزول هو ١,٨ ثانية لكل راكب لأبواب عربات قطارات النقل العام السريع وقطارات الضواحي التي عرضها ٢٤ بوصة (٦١,٤٤ سم) ومعدل ١,٤ ثانية لكل راكب للأبواب بعرض ٣,٤ قدم (١,٠٤ متر). ويقل هذا الزمن للأرصفة المرتفعة التي على مستوى أرضيات العربات إلى ١,١ ثانية لكل راكب للباب بعرض ٢٤ بوصة و٠,٨ ثانية لكل راكب للباب بعرض ٤ أقدام (١,٢٢ متر). ويمكن أن يدْخُل الركاب إلى الأرصفة إما عبر أبواب دوارة أو عبر بوابات عادية. ويمكن عبور ٥٠ شخصاً في الدقيقة عبر باب دوار نصف قطره ٥,٣ قدم (١,٦٢ مترا)، بينما تمرر البوابة العادية ٤٦ شخصاً في الدقيقة.

ويصل الركاب إلى الأرصفة عبر صالات تمتد من الشارع العام أو عبر ممرات مشاة متصلة بمنطقة خدمات الركاب في المحطة. وعندما تكون المناطق المخصصة للانتظار ومناطق الخدمات على مستويات رأسية مختلفة، يجب توصيلها إما بمنحدرات أو بسلالم. ويمكن للسلم المتحرك الذي عرضه ٣٢ بوصة (٨١,٢٨ سم) تحريك ٥٠٠٠ شخص في الساعة، أما السلم المتحرك الذي عرضه ٤٨ بوصة (١,٢٢ متر) فيحرك ٨٠٠٠ شخص في الساعة. ومعدل حركة الركاب هو ١٥ قدماً (٤,٥٧ متر) لكل ثانية لكل قدم عرضي لممر المشاة، وذلك لركاب القطارات العابرة أو بين المدن، و ٣٠ قدماً (٩,١٤ متر) لكل ثانية لكل قدم لركاب قطارات الضواحي. وهذه القيم السابقة هي التي يوصي باستخدامها اتحاد مهندسي السكك الحديدية الأمريكي.(٨)

ويعود السبب في هذا الفرق في معدل حركة الركاب أن الراكب المسافر بين المدن يتحرك ببطء عبر أجزاء المحطة ربما لكونه غريباً عن المحطة ولا يعرف ممراتها، وأن لديه متاعاً يريد تسليمه أو استلامه، وربما يكون عليه أن ينتظر طويلاً للتحويل إلى قطار آخر أو لتأخر القطار الأصلي، وربما يحتاج إلى الحصول على بعض المعلومات أو الطعام أو البحث عن مكان مريح للجلوس. وعلى العكس، فإن راكب قطارات الضواحي يكون ملماً بأجزاء المحطة وممراتها نظراً لتردده عليها، ولا يحمل متاعاً كثيراً وعادة ما يكون في عجلة من أمره، وهو يريد اختراق المحطة بأقصر طريق مباشر لكي يصل إلى الشوارع ووسائل النقل الأخرى المجاورة أو العكس.

ويجب الفصل بين هذين النوعين من الركاب لتفادي التعارض في حركتهم وارتباكهم. ففي المحطات الفرعية، تصل قطارات الضواحي وتغادر المحطة على مستوى منفصل عن أرصفة القطارات العابرة. أما في المحطات الصغيرة فتكون الأرصفة لكلا النوعين من الخدمة على المستوى نفسه ولكن يكون هناك رصيف لكل نوع مستقل عن الرصيف الآخر مع عدم تقاطع سككهما. وفي بعض الأحيان، تستخدم محطات مستقلة لكل نوع من الخدمة، وفي جميع الأحوال، يفضل وضع علامات إرشادية واضحة ودقيقة تبين الاتجاهات والمسارات وغيرها من وسائل توجيه الحركة.

---

(٨) Manual for Railway Engineering (Fixed Properties), Chapter 14, Table 1, p. 14-2-1, and A.R.E.A. Proceedings, Vol. 37, 1937, pp. 317-318, both published by the American Railway Engineering Association, Chicago, Illinois.

ويجب أن تكون مواقع المرافق المساندة لعمليات النقل أقرب ما يمكن للمحطة، خصوصاً المحطات الرئيسة أو النهائية، وتشتمل مرافق المساندة على ساحة خدمة وتنظيف العربات (حوش العربات)، وحوش المحركات لخدمة القاطرات، وسكك لإنتظار قاطرات الإمداد التي يجب أن تكون جاهزة للطوارئ. ويمكن للقطارات الدوران على سكك خاصة تنشأ لهذا الغرض على شكل حلقة مغلقة أو على سكك على شكل حرف (Y) باللاتينية.

محطات الحافلات Bus Stations. تتفاوت أنواع محطات الحافلات تفاوتاً كبيراً، إذ تتدرج من الموقف الصغير على جانب الخط (الذي قد يكون مظللاً بسقيفة) إلى المنشأة المتعددة الأدوار والواسعة التي توجد في المدن الكبيرة. وينطبق هنا معظم ما ذكرناه سابقاً بخصوص محطات السكك الحديدية من حيث الحاجة لفصل حركة المرور بين المدن عن الحركة المحلية، ومعدلات الحركة الخاصة بكل نوع من الركاب ومرافق الخدمات والتسهيلات والعلامات الإرشادية.

وعادة ما تقسم أنواع تصميم محطات الحافلات إلى نوعين أحدهما يسمح بوقوف الحافلات وقوفا موازيا للرصيف، ويتم في الآخر وقوف الحافلات بزاوية معينة مع الرصيف (كأسنان المنشار) أو عمودية على الرصيف. وعادة ما يستعمل الصنف الأول لوقوف الحافلات المحلية حيث إن سرعة حركة الركاب ضرورية هنا لتحقيق معدلات عالية لاستغلال المعدات.

وينقسم تصميم المحطة للمواقف التي على شكل أسنان المنشار، بدوره، إلى نوعين يشكل أحدهما مواقف بزاوية قليلة مع رصيف المحطة، وبذا، تستطيع الحافلات الخروج من المواقف عن طريق السير إلى الأمام عبر الحيز المتروك لها بمحاذاة الرصيف كما في الشكل (١١ , ١٠)، ويمكن استخدام هذا النوع، أيضاً، في خدمة الحافلات المحلية لأنها تتيح المغادرة السريعة للحافلة من الرصيف. أما التصميم الآخر للمواقف التي على شكل أسنان المنشار فتكون الزاوية بين الموقف ورصيف المحطة أكبر بحيث تكون الحافلة بعيدة عن حركة المرور، ولكن، يجب على الحافلة في هذه الحالة الرجوع إلى الوراء لمغادرة الموقف والسير مع حركة المرور. ويمتاز هذا التصميم باستغلال طول الرصيف لتوفير أقصى عدد من مواقف الحافلات. ويستخدم هذا النوع استخداماً اساسياً لخدمة الحافلات بين المدن حيث يجب تحميل العفش وتنزيله في المحطات.

ويعتمد عدد أماكن الوقوف لخدمة الحافلات المحلية على العدد الإجمالي للركاب الصاعدين والنازلين في المحطة في الساعة، وعلى معدلات الصعود والنزول وتقاطر الحافلات المستخدمة وسعتها. ويمكن حساب عدد أماكن الوقوف المطلوبة (N) لتحميل عدد معين من الركاب وتنزيلهم في الساعة (J) باستخدام المعادلة:

$$N=\frac{J\ (Bb+C)}{3600B}$$

حيث إن:

J = عدد الركاب الصاعدين إلى الحافلة في الساعة.

B = عدد الركاب الصاعدين لكل حافلة خلال فترة الذروة التي مدتها ١٠ أو ١٥ دقيقة.

b = زمن خدمة الصعود إلى الحافلة مقاساً بالثانية لكل راكب.



٠,٦١ متر (قدمان) كحد أدنى إلى الجدار أو السياج

٦,٧١ متر كحد أدنى
(٢٢ قدماً)

L

A

(أ)

L = ٤٠ قدماً للحافلة العادية و ٦٠ قدماً للحافلة المزدوجة
A = ٨٠ قدماً للحافلة العادية و ١٠٠ قدماً للحافلة المزدوجة

٠,٦١ متر (قدمان) كحد أدنى إلى الجدار أو السياج

٦,٧١ متر كحد أدنى
(٢٢ قدماً)

٢,٤٤ متر
(٨ أقدام)

٤,٥٧ متر
(١٥ قدماً)

٣,٠٥ متر
(١٠ أقدام)

C

L = ٤٠ قدماً للحافلة العادية و ٦٠ قدماً للحافلة المزدوجة
C = ٦٥ قدماً للحافلة العادية و ٨٥ قدماً للحافلة المزدوجة

٠,٦١ متر (قدمان) كحد أدنى إلى الجدار أو السياج

(ب)

٦,٧١ متر كحد أدنى
(٢٢ قدماً)

L

٣,٠٥ متر
كحد أدنى
(١٠ أقدام)

D

L = ٤٠ قدماً للحافلة العادية و ٦٠ قدماً للحافلة المزدوجة
D = ٤٠ قدماً للحافلة العادية و ٦٠ قدماً للحافلة المزدوجة
(١ قدم = ٠,٣٠٤٨ متر)

(ج)

(أ) رصيف بخط مستقيم. (ب) أسنان المنشار: مغادرة الحافلات بالسير إلى الأمام
(جـ) أسنان المنشار: مغادرة الحافلات بالرجوع للخلف

الشكل (١١,١٠) تشكيلات مواقف الحافلات.

(a and b are based on Transportation Research Board, *Bus Use of Highways*, 1975, Figure 21, p. 40.)

C = الفترة الزمنية الفاصلة بين الحافلات (منذ إغلاق باب الأولى حتى فتح باب التي تليها) .[٩]

أما الحافلات بين المدن، فيجب توفير مواقف كافية لها في المحطات لاستيعاب جميع الرحلات المجدولة القادمة والمغادرة في أي وقت من الأوقات . ويعتمد طول الفترة الزمنية التي تقضيها الحافلة في الموقف على الجدول الزمني لرحلاتها وكمية العفش المطلوب تحميله أو إنزاله وعدد الركاب والإجراءات المتبعة لتغيير السائقين وغيرهم من العاملين. ويجب اختيار موقع محطة النقل بالحافلات بين المدن لتكون بالقرب من مصادر الحركة على أن يكون وصولها إلى الخطوط والطرق الطويلة سهلاً ومباشراً.

مراكز المرور العابر Transit Centers. هناك نوع من مرافق محطات النقل المتعدد الوسائط بدأ ينشأ حديثاً للنقل العام داخل المدن يعرف بمراكز المرور العابر، وهي ليست إلا نمواً لمحطات الوقوف والركوب التي تنشأ بجوار محطات قطارات الضواحي من أجل أن يصل الركاب إليها بسياراتهم التي يوقفونها ويستقلون القطارات إلى أعمالهم، وبالعكس. ولذا، فإن مراكز المرور العابر تقع عادة بالقرب من (أو عند) نهايات خطوط النقل العام السريع وقطارات الضواحي. وتسهل هذه المراكز تحويل الركاب بين قطارات الضواحي أو قطارات الأنفاق، وبين كل من الحافلات المحلية والحافلات بين المدن والحافلات السريعة والسيارات. ويعدّ وجود أماكن لوقوف السيارات طوال اليوم بجوار المحطة مع سهولة الوصول إلى وسائل النقل الأخرى من أهم عناصر تلك المراكز. وتشمل المرافق الأخرى للمراكز أرصفة مغطاة لركوب القطارات أو الحافلات وممرات مشاة مغطاة وسلالم وأرصفة متحركة ومواقف للحافلات وسيارات الأجرة للتنزيل والتحميل ومواقف أخرى مؤقتة للسيارات الخاصة لتنزيل ذويهم واستقبالهم. وأحياناً توجد، أيضاً، مكاتب لبيع التذاكر والصحف والمجلات ودورات مياه وقاعات محدودة للانتظار. ويجب توفير علامات إرشادية مناسبة لتوجيه الركاب وإرشادهم إلى وجهاتهم وقطاراتهم وحافلاتهم. وتنشأ هذه المراكز عادة عند التقاطعات المهمة، ويجب أن تكون بعيدة نوعاً ما عن وسط المدينة التجاري لتجعل التحويل بين القطارات أو الحافلات السريعة ووسائل النقل الأخرى عملية مجدية. وفي الوقت نفسه، يجب ألا تبعد هذه المراكز عن وسط المدينة التجاري كثيراً، وذلك لخدمة الطلب المرتفع فيها. ويمكن زيادة الطلب زيادة كبيرة عن طريق خدمة التغذية التي تؤديها الحافلات المحلية التي تنتشر خطوطها انتشارا شعاعياً منطلقة من مركز المرور العابر وإليه. انظر الشكلين (١٢ , ١٠) و(١٣ , ١٠).

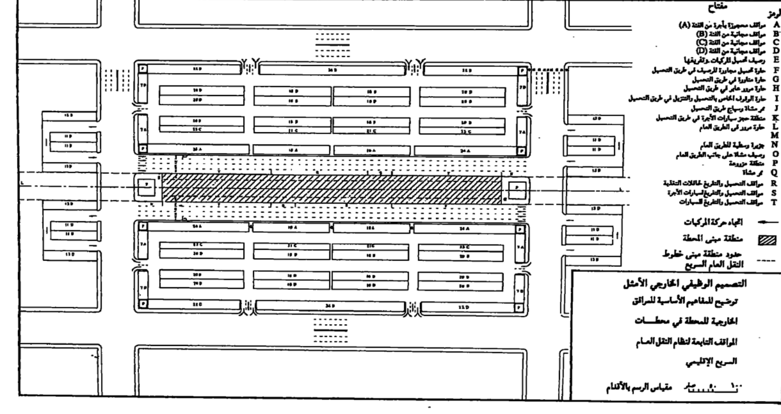
مواقف السيارات Parking. تعد كل من مواقف السيارات السطحية والمتعددة الأدوار مرافق محطات تقوم بوظيفة تخزين السيارات لفترات قصيرة. وتختلف المواقف من حيث الشكل والتعقيد من الساحات المنبسطة على مستوى الشوارع إلى منشآت معقدة متعددة الأدوار. وتصمم معظم ساحات المواقف ومنشآتها ليقوم السائق بنفسه بإيقاف

---

(٩) Bus Use of Highways : Planning and Design Guidelines, National Cooperative Highway Research Program Report 155, Transporation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1975, p. 41, Table 19.



الشكل (١٠,١٢). محطة النقل العام السريع الإقليمية في مدينة دالي بمنطقة خليج سان فرانسيسكو.
(Courtesy of Parsons, Brinckerhoff, Quade, and Douglas of San Francisco and New York, Parsons Brinckerhoff Tudor-Bechtel, General Engineering Consultant to Bart With PBQ & D. Inc. in Charge of the Daly City Station.)



الشكل (١٣, ١٠). مسقط أفقي لمحطة نقل عام سريع إقليمية.

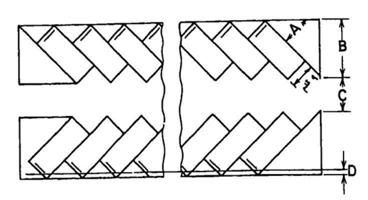
(Courtesy of Parsons, Brinckerhoff, Quade, and Douglas, from a paper by Henry D. Quinby, Highway Research Board Record 114, 1966.)

سيارته، وبعضها يستخدم موظفين لاستقبال السيارات في المدخل وقيادتها لإيقافها داخل موقف السيارات، في حين يوجد عدد قليل من تلك المواقف مجهزا بنظام ميكانيكي لرفع السيارات وإنزالها.

والموقع المثالي للمواقف هو الذي يضع المستخدم بالقرب من وجهته النهائية. وتوفر المواقف في وسط المدينة التجاري للمستخدم سهولة الوصول إلى وجهته. ويخصص بعض أصحاب المباني في وسط المدينة دوراً أو أكثر لوقوف سيارات السكان أو سيارات موظفي وزائري المصالح الموجودة في تلك المباني. وقد يصعب توفير مواقف للسيارات في شوارع وسط المدينة المكتظة، كما أن استخدام الأرض هناك لأغراض وقوف السيارات قد يكون غير مجد اقتصادياً إلا بصفة مؤقتة أو عند الرغبة في إيجاد ساحة مفتوحة داخل مبنى ضخم يقع في وسط المدينة لأغراض التجميل. ولذا فإن المواقع البديلة لمواقف السيارات هي في أطراف منطقة وسط المدينة التجاري، وذلك يتطلب توافر وسيلة نقل أخرى للوصول إلى الأماكن المطلوبة في وسط المدينة (يمكن استخدام خدمة حافلات مكوكية، مثلاً)، والميزة الأساسية لتلك المواقع هي أنها تساعد على إبقاء السيارات بعيداً عن شوارع وسط المدينة المزدحمة بتوفير مرافق لوقوف السيارات في الأطراف حيث توجد نقاط التحويل بين وسائل النقل المختلفة.

أما الموقع التفصيلي للموقف فيجب أن يصمم بحيث يسهل الوصول إليه من الطرق السريعة والشوارع الرئيسة مع تجنب جعل المداخل والمخارج على شوارع مزدحمة، وتجنب أن تضطر السيارات الخارجة من الموقف إلى الالتفاف في اتجاه عكسي لحركة المرور في أحد اتجاهي حركة الشوارع.

وتحدد سعة المواقف بإجراء المسوحات التي تحدد حجم الطلب الكلي وفترات الذروة ومعدل استعمال مكان الوقوف الواحد. ويمكن استعمال وحدة مكان وقوف– ساعة (مكان وقوف سيارة واحدة لمدة ساعة واحدة) لقياس الطلب على الموقف ودرجة استخدامه. يحدّد الطلب بإجراء مسح لاستخدام الموقف ليوم كامل وعلى فترات تتراوح بين كل ١٥ أو ٣٠ دقيقة، وذلك لتحديد نسب السيارات التي تقف لمدد ١٥ دقيقة وساعة وساعتين ونصف يوم ويوم كامل . . . إلخ. ويفضل أن يضاف ما يعادل ١٥٪ من سعة الموقف المطلوبة باستثناء الحالات التي يكون فيها عددٌ معروف من أماكن الوقوف المخصصة أو المؤجرة لأشخاص معينين. ويعتمد مقاس الموقف السطحي أو المتعدد الأدوار على عدد أماكن الوقوف المطلوبة وأبعاد مكان الوقوف الواحد وزاوية الوقوف ومساحات الممرات بين أماكن الوقوف والمداخل والمخارج. ويتحقق أقصى استغلال لمساحة الموقف باستخدام أماكن الوقوف الرأسية المتعامدة بزاوية ٩٠° درجة مع ممر السيارات المحصور بين أماكن الوقوف، ويقل عدد السيارات التي يمكن أن تقف لكل قدم طولي من ممر السيارات كلما قلت الزاوية. ويجب وضع حواجز وقائية في الجزء الأمامي لمكان الوقوف لصد عجلات السيارات وحماية جدران الموقف من الصدمات. والأبعاد الشائعة لمكان الوقوف هي ٨ أقدام × ١٨ قدماً (٢,٤٤ متر × ٥,٤٩ متر)، ولكن يمكن أن تتغير حسب أبعاد السيارات التي ستستعمل الموقف. ويوصى باستخدام عرض ٩ أقدام (٢,٧٤ متر) في مواقف مراكز التسوق. أما عرض ممر السيارات بين أماكن الوقوف فيجب أن يكون مساوياً لطول مكان الوقوف زائداً نحو ٢٠٪. ويبين الشكل (١٠,١٤) الأبعاد النموذجية لأماكن الوقوف الشائعة وزواياها. والأبعاد المهمة هنا هي طول السيارة وعرضها وارتفاعها والمسافة الطولية بين عجلاتها ونصف قطر دورانها. ويبين الجدول (١٠,١) مدى هذه الأبعاد للسيارات المنتجة في عام ١٩٧٣ م.



زاوية الموقف (A)	طول الموقف الواحد (B)	الحد الأدنى لعرض الموقف (C)	الخلوص من توقف العجلة (D)
٣٠°	١٧,٦ قدم	١٢ قدماً	٢,٧ قدم
٦٠°	٢١,٢ قدم	١٧ قدماً	٣,٠ أقدام
٩٠°	١٩,٠ قدماً	٢٥ قدماً	٣,٣ قدم

(قدم واحد = ٠,٣٠٤٨ متر)

الشكل (١٠,١٤). الأبعاد النموذجية للمواقف السطحية للسيارات.

الجدول (١٠,١): الأبعاد المهمة للسيارات المصنوعة عام ١٩٧٣م(أ)

نوع البعد	مدى القيم (متر)		
المسافة الطولية بين مراكز العجلات	٢,٣٩	إلى	٣,٢٨
الطول الإجمالي	٤,١٧	إلى	٥,٩٨
العرض الإجمالي	١,٧٥	إلى	٢,٠٣
الارتفاع الإجمالي	١,٢١	إلى	١,٦٠
الخلوص الأدنى بين الأجزاء السفلية للسيارة وسطح الطريق	٠,١١	إلى	٠,٢٠
المسافة العرضية بين مراكز العجلات	١,٣٠	إلى	١,٦٤
الخلوص بين أسفل المصدّ الأمامي وسطح الطريق	٠,١١	إلى	٠,٤٧
قطر الدوران – من الجدار للجدار (للعجلة الأمامية)	١٠,٥٨	إلى	١٥,٢١
قطر الدوران – من الرصيف للرصيف (للعجلة الأمامية)	٩,٦٠	إلى	١٤,٠٢

(أ) "Parking Dimensions 1973 Model Cars," Engineering News, N.731, Motor Vehicles Manufacturers Association, Detroit, Michigan.

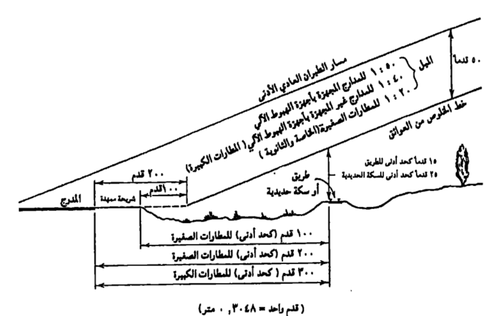
وفي المواقف المتعددة الأدوار، يمكن أن يكون الوقوف إما على طول المنحدرات المتكررة التي يتكون منها المرآب أو يكون على الأدوار المستوية مع وجود منحدرات بين كل دور وآخر إما في نهايته أو في وسطه. ويساعد التصميم

الأول بمنحدرات مستمرة على تقليل الميول والدوران ولكنه قد يتطلب القيادة لمسافات طويلة مما يقلل من سعة التدفق المروري داخل المرآب. ويتراوح ارتفاع سقف الطابق الواحد (بين الدورين) بين ١٠ و ١٢ قدماً (٣,٠٥ إلى ٣,٦٦ متر) وتتراوح درجة ميل المنحدرات بين ٨٪ و ١١٪ ؛ ويفضل استخدام درجات الميول القليلة. كما يجب توفير الإضاءة والتهوية في المناطق المغلقة وتوفير نظام لتصريف مياه الأمطار وغيرها من المياه التي قد تتسرب. وقد يتطلب إنشاء مواقف تحت الأرض نقل مواقع شبكات المنافع العامة المدفونة تحت الأرض مثل شبكات الماء والصرف الصحي والكهرباء والغاز وغيرها. ويفضل وجود منطقة تجميع عند مدخل الموقف بعيدة عن حركة المرور في الشارع، وذلك لحجز السيارات التي تنتظر للدخول إلى الموقف. وإذا كان عدد السيارات التي تستخدم الموقف استخداماً طارئاً قليلاً بالنسبة للسيارات التي تقف في أماكن مستأجرة يومياً، فيجب تقسيم الموقف بشكل يفصل فيه بين هاتين المجموعتين من المستخدمين. ويمكن استخدام علامات مضيئة عند المدخل لتشير إلى وجود أماكن وقوف شاغرة من عدمه.

المطارات Airports. إن الميزة الأساسية لأي مطار هي مدارجه التي تعد ضرورة لازمة لعمليات الهبوط والإقلاع لجميع الطائرات المعاصرة. كما يحتوي المطار الكبير المجهز جيداً، أيضاً، على حظائر لتخزين الطائرات وفحصها وصيانتها ومرافق الوقود والزيوت ومعدات مكافحة الحرائق وساحات لوقوف الطائرات وممرات تصل حظائر الطائرات وساحات مباني الصالات وساحات الوقوف بالمدارج. كما يحتوي المطار، أيضاً، على مركز عمليات وبرج مراقبة وتحكم ومكاتب إدارية وأرصفة للشحن ومبيعات التذاكر وصالات استلام الأمتعة وصالات إنتظار وصالات الصعود للطائرات وتسهيلات راحة المسافرين ومواقف مناسبة للسيارات. وتقوم هذه المرافق بالإضافة إلى وظائفها الرئيسة، بتجميع الركاب الذين يقومون بالتحويل أو التبديل من رحلة إلى أخرى وتركيزهم حتى يتراكم عدد كاف لقيام طائرة محملة.

وتحتاج المطارات مساحات شاسعة من الأراضي ومجالاً جوياً خالياً من العوائق مع توافر مجال رؤية جيدة عند الاقتراب من منطقة المطار. وتشمل الاعتبارات الأخرى القرب من مصادر الطلب على حركة النقل الجوي والقرب من الطرق الرئيسة. ولأن عمليات الطائرات النفاثة الضخمة تتطلب مساحات كبيرة للمدارج ولممرات الاقتراب، وأيضاً، نظراً لضجيجها المرتفع، فإن المطار المخصص لاستقبال ذلك النوع من الطائرات عادة ما يصنف كمطار إقليمي لخدمة منطقة كاملة مع وجود مطارات صغيرة في المدن المجاورة ترتبط مع المطار الإقليمي بخدمة تغذية بوساطة الطائرات الصغيرة. ويوضح الشكل (١٠,١٥) قيم الخلوص الرأسي لمسارات اقتراب الطائرات من المدرج وأنواع عمليات التشغيل وأنواع المدارج المختلفة.

طول المدرج Runway Length. في السابق، كان تصنيف المطارات وأطوال مدارجها اللازمة والأحمال المسموح بها يتم بناء على نوع الخدمة التي تشمل الخدمات الخاصة والثانوية، والمغذية والرئيسة، والسريعة والقارية، والعابرة للقارات والعابرة للقارات السريعة. أما اليوم، فتصنف الخدمات في أنواع ثلاث هي : المطارات المحلية ونظام المطارات الوطنية والمطارات العسكرية. ويوضح الجدول (١٠,٢) تصنيف نظام المطارات الوطنية في أمريكا، وهو مبني على حجم الإركاب.



الشكل (١٠,١٥). الخلوص الرأسي لمسارات الاقتراب.

(Robert W. Abbett, Editor, *American Civil Engineering Practice*, Vol. I, Wiley, New York, 1956, p. 5-06, Figure 2.)

الجدول (١٠,٢): معايير تصنيف المطارات[أ]

تصنيف المطار	رمز التصنيف	مستوى الخدمة العامة (عدد الركاب السنوى)	كثافة التشغيل الطيرانية (عدد عمليات الطائرات السنوية)
النظام الرئيس		أكثر من مليون	
عالي الكثافة	(P1)		أكثر من ٣٥٠ ألف
متوسط الكثافة	(P2)		٢٥٠ ألف إلى ٣٥٠ ألف
منخفض الكثافة	(P3)		أقل من ٢٥٠ ألف
النظام الثانوي		٥٠ ألف إلى مليون	
عالي الكثافة	(S1)		أكثر من ٢٥٠ ألف
متوسط الكثافة	(S2)		١٠٠ ألف إلى ٢٥٠ ألف
منخفض الكثافة	(S3)		أقل من ١٠٠ ألف
النظام المغذّي		أقل من ٥٠ ألف	
عالي الكثافة	(F1)		أكثر من ١٠٠ ألف
متوسط الكثافة	(F2)		٢٠ ألف إلى ١٠٠ ألف
منخفض الكثافة	(F3)		أقل من ٢٠ ألف

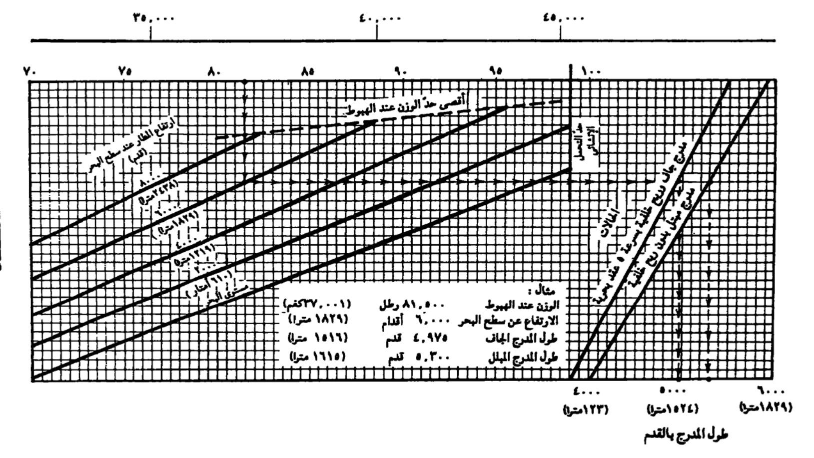
(أ) National Airport System Plan, Fedral Aviation Administration Advisory (Circular No. 150/5090-2, FAA, U.S. Department of Transportation, 25 June 1971.

ويعتمد طول المدرج على عدة عوامل تشمل ما إذا كان المدرج سيستخدم لعمليات الهبوط، فقط، أو للإقلاع، فقط، أو لكليهما، ووزن الطائرة وارتفاع منسوب المطار والأحوال الجوية والرياح المتوقعة. ويوضح الشكلان (١٦ , ١٠ أ) و(١٦ , ١٠ب) منحنيات نمطية لأداء الطائرات التي تربط هذه العوامل مع بعضها بيانياً. ويعكس عامل المسافة المبين في الشكل (١٦ , ١٠ ب) مدى السرعة التي تحققها الطائرات والتي تتحدد من خلال طريقة تقسيم الوزن الإجمالي للطائرة عند الإقلاع بين الوزن الفارغ للطائرة ووزن الحمولة ووزن الوقود الذي تحمله الطائرة.

وتقسم مطارات خدمة الطائرات الخاصة الصغيرة (طائرة بمحركين كحد أقصى) إلى ثلاثة أنواع حسب أوزان الطائرات وخصائص محركاتها. وتتراوح أطوال مدارجها بين ٢٤٠٠ و ٣٥٠٠ قدم (٧٣٢ إلى١٠٦٧ مترا) عند مستوى البحر ودرجة حرارة٨٠ درجة فهرنهايت. ويجب زيادة الطول عند زيادة درجة الحرارة أو الارتفاع عن منسوب البحر. ويتراوح العرض الأدنى لحرم المدرج بين ١٠٠ و ١٥٠ قدما (٣١ إلى ٤٦ مترا)، في حين يتراوح عرض المدرج نفسه بين٥٠ و ٧٥ قدما (١٥ إلى ٢٣ مترا). وتشمل العوامل الأخرى التي تؤثر على طول المدرج كلاً من ارتفاع المطار عن منسوب البحر (يزاد طول المدرج بنسبة ٧٪ تقريباً لكل ١٠٠٠ قدم (٣٠٥ أمتار) من الارتفاع فوق سطح البحر)، ودرجة الحرارة (التي تبنى على أقصى درجة حرارة في أشد أشهر السنة حرارة، وتقاس بدرجات فهرنهايت)، والعلاقة بين الوزن والمسافة، حيث إن المسافة (المبنية على منحنيات الأداء) هي تلك المسافة التي تستطيع الطائرة قطعها منذ إقلاعها من مطار معين حتى تصل إلى المطار التالي وهي تحمل أقصى حمولة ممكنة بأقل كمية من الوقود.

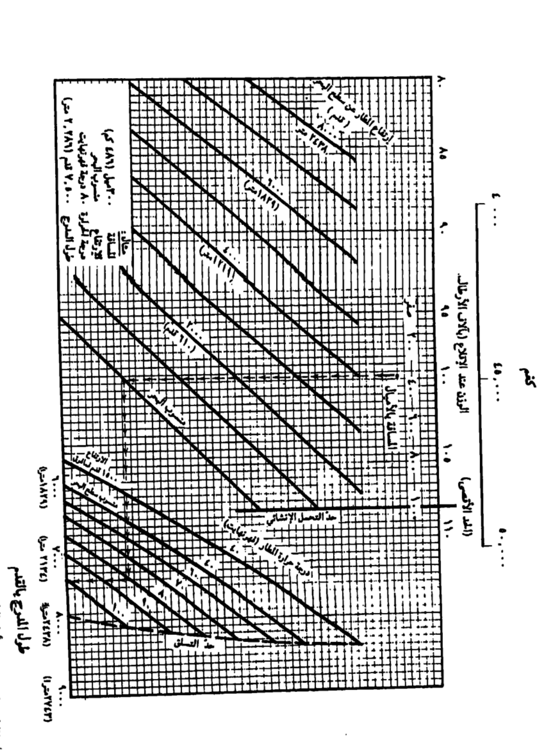
سعة المدرج Runway Capacity. تعتمد سعة المدرج على كل من نوع الطائرات التي يخدمها والرياح السائدة وغيرها من الأحوال الجوية الأخرى. وتذكر عادة قيمتان منفصلتان لسعة المدرج نفسه إحداهما لعمليات الإقلاع أوالهبوط التي تستخدم قواعد الطيران بالرؤية، والأخرى لقواعد الطيران بالأجهزة الإلكترونية. وتعرف السعة العملية بأنها تلك التي تتحقق عندما يصل متوسط التأخير للطائرات التجارية المغادرة إلى ٤ دقائق خلال ساعتي ذروة متجاورتين خلال الأسبوع؛ ويدل التأخير بمتوسط دقيقتين على السعة العملية للطائرات الصغيرة. وعادة ما تذكر السعة العملية على أساس السعة العملية السنوية. كما تعتمد سعة المطار على عدد المدارج وتخطيطها وعدد ممرات الطائرات من تلك المدارج وإليها وتخطيطها. ولأن السعة العملية مرتبطة بأحوال الطقس، يفترض أن ٩٠٪ من عمليات الإقلاع أو الهبوط تتم في ظروف جوية مناسبة تسمح باستخدام قواعد الطيران بالرؤية و١٠٪ منها تتم في ظروف جوية سيئة لا تسمح إلا باستخدام قواعد الطيران بالأجهزة الإلكترونية، وذلك عند حساب السعة العملية.

وعند حساب سعة المدرج الذي يستخدمه خليط من أنواع الطائرات، يتم عادة تقسيم خليط أنواع الطائرات إلى أربعة تقسيمات. يحتوي المزيج رقم ١ على ٩٠٪ طائرات مروحية خفيفة بمحرك واحد أو محركين (النوع E+D) و١٠٪ طائرات نفاثة خاصة أو طائرات تجارية مروحية بمحركين (النوع C). أما المزيج رقم ٢ فيحتوي على ٣٠٪ طائرات تجارية نفاثة بمحركين أو ثلاث، أو طائرات تجارية مروحية بأربعة محركات (النوع B) و٣٠٪ طائرات



الشكل (١٦,١٠أ). منحنى أداء الطائرة عند الهبوط.

(*Runway Length Requirements for Airport,* AC 150/5325-4CHG 8, Federal Aviation Administration, Washington, D.C., 8 November 1967, p. 20)



الشكل (١٦,١٠ ب). منحنى أداء الطائرة عند الإقلاع.

(Douglas DC-93- Series) (*Runway Length Requirements for Airport*, AC 150/5325-4CHG 8, Federal Aviation Administration, Washington, D.C., 8 November 1967, ص ٢١)

من النوع C و ٤٠٪ طائرات من النوع E+D . ويحتوي المزيج رقم ٣ على ٢٠٪ طائرات نفاثة ضخمة بأربعة محركات أو أكبر (النوع A) و ٤٠٪ طائرات من النوع B و ٢٠٪ طائرات من النوع C و ٢٠٪ طائرات من النوع E+D . وأخيراً يحتوي المزيج رقم ٤ على ٦٠٪ طائرات من النوع A و ٢٠٪ طائرات من النوع B و ٢٠٪ طائرات من النوع C .

وتصل سعة المدرج المفرد عند تشغيله بقواعد الطيران بالرؤية، وتستعمله طائرات مروحية خفيفة (المزيج رقم ١) إلى ٩٩ عملية إقلاع أو هبوط في الساعة، وتصل إلى ٥٣ عملية في الساعة عند تشغيله بقواعد الطيران بالأجهزة، وتبلغ السعة العملية السنوية إلى ٢١٥٠٠٠ عملية إقلاع أو هبوط. والقيم المقابلة للمزيج رقم ٢ هي ٧٦ , و ٥٢ , و ١٩٥٠٠٠ عملية على الترتيب، وللمزيج رقم ٣ هي ٥٤ , و٤٤ , و ١٨٠٠٠٠ عملية على الترتيب، وأخيراً للمزيج رقم ٤ هي ٤٥ , و٤٢ , و ١٧٠٠٠٠ عملية على الترتيب. وتبلغ سعة المطار بمدرجين متوازيين بينهما مسافة فاصلة قدرها ٥٠٠٠ قدم (١٥٢٤ متراً) أو أكثر ضعف سعة المدرج المفرد. ويوضح الشكل (١٧ , ١٠) ترتيبات نموذجية مختلفة لتخطيط المدارج. ويمكن للقارئ الرجوع إلى المرجع رقم ٢٥ في قائمة القراءات المقترحة لهذا الفصل للحصول على قيم السعة للأنواع الأخرى من ترتيبات المدارج المبينة في الشكل (١٧ , ١٠).

ويجب تصميم المدرج وتوجيهه بحيث يسمح باقلاع الطائرات وهبوطها مع اتجاه الريح أو ضده، وأن تتم ٩٥٪ من تلك العمليات بدون وجود رياح متعامدة على جسم الطائرة (رياح جانبية) تزيد سرعتها على ١٥ ميلا / ساعة (٢٤ كم/ ساعة) (يمكن السماح بـ ٢٠ إلى ٣٠ ميلا/ ساعة (٣٢ إلى ٤٨ كم/ ساعة) إذا كانت الطائرات الثقيلة فقط، هي التي ستستخدم المدرج).[١٠] وهذا يتطلب دراسة الرياح السائدة التي ترسم، عادة، على شكل خطوط شعاعية فيما يعرف باسم وردة الرياح، وهي توضح نسبة الزمن الذي تهب فيه الرياح بسرعات مختلفة من الاتجاهات الشعاعية أو القطرية.

ولضمان التشغيل الدائم للمطار عند وجود رياح جانبية يجب، استخدام أكثر من مدرج بالتناوب عند تغير اتجاه الرياح. كما يجب، أيضاً، الحرص على تصميم المدارج تصميماً يتلافى حدوث تعارض في عمليات الطائرات التي تستخدم مدرجين في الوقت نفسه، خصوصاً إذا كان أحد المدارج أو أكثر مصمماً للهبوط الآلي بالأجهزة – كما هو الحال في المطارات الكبيرة عادة.

وتؤثر طريقة وصول الركاب للطائرة من مبنى المطار على السرعة الإجمالية للنقل الجوي وعلى راحة الركاب. وعموماً، يتم الوصول للطائرة عن طريق ردهات المطار الواسعة إلى البوابات ثم الخروج إلى الساحة المكشوفة والمعرضة للطقس في الطريق إلى الطائرة. وقد يساعد وجود أرصفة متحركة في ردهات المطار على تقليل زمن المشي وجهده داخله كما هو مطبق فعلاً في بعض المطارات. وفي المطارات الضخمة، تقف الطائرات بالقرب من مبنى المطار ويتم توصيل بوابات الطائرة ببوابات مبنى المطار بوساطة ممرات مشاة أنبوبية تتحرك ميكانيكياً. وفي المطارات المكونة من عدة مبان لصالات الركاب تستخدم أنواع مختلفة من الحافلات وناقلات

(١٠) Phillips Moore, "Airport engineering", in R.W. Abbett, *American Civil Engineering Practice*, Volume I, Wiley, New York, 1956, pp. S.11.

تشكيل المدارج		تشكيل المدارج	
الوصف	التشكيل	الوصف	التشكيل
مدرجان يتقاطعان في الوسط	اتجاه العمليات	مدرج مفرد (للوصول والإقلاع)	
ثلاثة مدارج		مدرجان متوازيان ومتقاربان: (يتأثران ببعضهما في حالة تطبيق قواعد الطيران بالأجهزة)	أقل من ٣٥٠٠ قدم
مدارج متوازية ومتقاطعة ونقاط التقاطع عند النهايات	٥٠٠٠ قدم أو أكثر	مستقلان في حالة قواعد الطيران بالأجهزة حيث يمكن استخدامهما في الوقت نفسه للإقلاع أو الهبوط	٣٥٠٠ إلى ٤٩٩٩ قدماً
مدارج متوازية ومتقاطعة	٥٠٠٠ قدم أو أكثر	حرف (V) مفتوح ، يعتمدان على بعضهما. تتم العمليات في الاتجاه الذي يبتعد عن نقطة الالتقاء	
تشكيل على شكل حرف (Z) بمدرجين متوازيين يتقاطعان مع مدرج ثالث	٣٥٠٠ إلى ٤٩٩٩ قدم	مدرجان يتقاطعان عند المسافة الحرجة	اتجاه العمليات

الشكل (١٠,١٧). تشكيلات نموذجية لمدارج الطائرات.

(*From Airport Capacity Criteria Used in Long-Range Planning,* Federal Aviation Administration, Washington, D.C., 8 November 1969, pp. 6-10.)

الأفراد لتسهيل الانتقال من مبنى لآخر. وتنقل أمتعة الركاب من أماكن استلام الأمتعة من الركاب داخل مبنى المطار إلى غرف الأمتعة بوساطة سيور متحركة ثم تحمّل في عربات أو حاويات لنقلها لاحقاً إلى موقع الطائرة بوساطة جرار عربات أو شاحنة، ثم تُحمّل داخل مستودع الطائرة بوساطة سير متحرك أو شاحنة بمنصة رافعة.

ومن المتطلبات الإضافية للمجتمعات المعاصرة توفير احتياطات أمنية لتفتيش الأمتعة والركاب لمنع إدخال الأسلحة أو الأجهزة الأخرى الممنوعة أمنياً إلى داخل الطائرة والتي قد تستخدم في محاولات اختطاف الطائرات والقرصنة الجوية.

وعلى سبيل المثال، فإن مطار دالاس - فورت وورث في أمريكا الذي يعد من أضخم مطارات العالم، عندما افتتح في سنة ١٩٧٣م كان مؤلفا من سلسلة من المباني المتعددة الأدوار ويقع بالقرب من طريق سريع مركزي ذي ١٠ حارات مرورية (٥ في كل اتجاه). ويتوافر بجوار كل مبنى مواقف للسيارات تساعد على تقليل مسافة المشي إلى أقل حد ممكن. وتقع خلف المباني مدارج المطار الرئيسة الموازية للطريق المركزي والتي ترتبط ببقية أجزاء المطار بممرات طائرات موازية. ويتم الانتقال بين مباني المطار المتعددة عن طريق نظام للنقل العام الفردي الذي يعمل آلياً بالطاقة الكهربائية، وتسير مركباته على إطارات مطاطية داخل طريق إرشادي على شكل قناة أو مجرى. وتستوعب العربة الواحدة ١٧ راكباً جالساً (مع وجود مساحة لوقوف ٢٤ شخصاً آخرين) وتتحرك بسرعة متوسطة قدرها ١٧ ميلاً/ ساعة (٢٧ كم/ ساعة).

مرافق الخدمة والإصلاح Service and Repair. عادة ما يقوم الناقل نفسه بتوفير مرافق الخدمة والإصلاح باستثناء النقل المائي حيث يتعاقد على الإصلاحات الكبيرة مع جهات أخرى، حيث تقوم شركات الأحواض الجافة بإجراء عمرات كاملة لغاطس السفينة ودفتها ورفاصاتها (بالإضافة إلى أجزائها الداخلية). وبالمثل، تنقل المراكب الخفيفة والصنادل من الماء على سكك حديدية لإصلاحها. وفي النقل بالسكك الحديدية، يتم إصلاح المعدات في أحواش المحركات وورش إصلاح العربات، في حين تجرى الإصلاحات الرئيسة في ورش العمرة والإصلاح الثقيل. وتقوم شركات الخطوط الجوية بتشغيل حظائر خاصة بها في المطارات لأغراض الفحص والإصلاح لطائراتها. ويتم إصلاح وصيانة الحافلات والشاحنات في ورش مملوكة لشركات النقل في المحطات الرئيسة أو مستأجرة. وتنشيء بعض الشركات الضخمة للنقل بالشاحنات ورشاً متوسطة للصيانة على خطوط خدمتها.

ويوضع وقود القاطرات والرمل والماء وزيوت التشحيم الخاصة بها في أحواش القاطرات أو في مواقع أخرى ملائمة داخل المحطة أو على خطوط السكك الحديدية. وعادة ما يتم تزويد السفن بالوقود من محطات وقود خاصة تقع على الشاطئ. وفي المطارات، تزوّد الطائرات بالوقود بوساطة شركة لتوزيع الوقود والزيوت متعاقدة مع سلطات المطار. وتتزود الشاحنات والحافلات بالوقود والزيوت باستخدام مرافقها الخاصة في المحطة، ولكن، يمكن، أيضاً، أن تحصل على ذلك من محطات الوقود المنتشرة في الشوارع كما هو الحال بالنسبة للسيارات الخاصة.

أسـئـلـــة للـدراســــة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - يراد إنشاء مخزن شحن لاستقبال البضائع التي تجلبها القطارات الواردة بمعدل ١٠٠ طن يومياً، كم يجب أن تكون مساحة أرضيات مخزن الشحن؟ وكم عدد أماكن وقوف العربات المطلوبة؟

٢ - بافتراض أن طول رصيف مخزن الشحن المذكور في السؤال الأول مصمم على أساس توافر طول مناسب لمنصة الشاحنات التي توزّع البضائع الواردة إلى المخزن عبر السكك الحديدية، كم عدد السكك اللازمة وكم عدد مواقع العربات على كل سكة إذا كانت السكك تفرغ مرة واحدة في اليوم، فقط وأن متوسط وزن محتويات العربة ١٠ أطنان؟

٣ - ما هي مساحة أرضيات سقيفة الشحن العابر المطلوبة لمناولة سفينتين للبضائع حمولة كل منهما ٢٠٠٠ طن في وقت واحد، مع افتراض أنه سيتم أولاً توصيل جميع البضائع إلى السقيفة ثم يتم رصها فيما بعد على مستويين أو طبقتين؟

٤ - كم عدد سكك ساحات الاستقبال اللازمة لاستيعاب قطارات مكونة من ٨٠ عربة للقطار الواحد إذا كانت تصل بمعدل قطارين في الساعة خلال فترة عمل مدتها ٨ ساعات (مع وصول قطارات أخف موزعة عشوائياً في بقية ساعات اليوم) وباستخدام معدل فرز للعربات قدره ١٢٠ عربة في الساعة؟

٥ - إذا كان معدل الفرز البالغ ١٢٠ عربة في الساعة في السؤال الرابع موزعاً على خمس مجموعات فرز بنسب ١٠٪ و ١٠٪ و ٢٠٪ و ٢٠٪ و ٤٠٪ لكل مجموعة على التوالي، كم عدد السكك وأطوال مسافات الوقوف فيها اللازمة في ساحة الفرز لمناولة الشحن خلال فترة الـ٨ ساعات عمل؟

٦ - كم عدد السكك المطلوبة في ساحة المغادرة على فرض أن القطارات المغادرة تتكون من ١٠٠ عربة للقطار الواحد وأن القطارات تحرّك إلى ساحة المغادرة فور توافر مجموعة فرز كافية؟ افرض أن القطار الواحد يقضي ساعة واحدة في ساحة المغادرة وذلك لفحص الهواء وربط القاطرة وعربة استراحة ملاحي القطار والانتظار لصدور الأوامر إليه بالتحرك للسكة الرئيسة.

٧ - اشرح أهمية وجود صوامع الحبوب وأرصفة خامات المعادن وأرصفة الفحم من حيث وظيفة التركيز والتجميع. وما علاقة هذه المرافق بمسألة توفير العربات والشاحنات والصنادل؟

٨ - يستقبل ميناء حاويات سفينتي حاويات أسبوعياً سعة كل منهما ٨٠٠ حاوية تقومان بتفريغ كامل سعتهيما وتحميله، ويصل ٤٠٪ من الحاويات إلى الميناء ويغادره بوساطة الشاحنات على الطرق، في حين يصل ويغادر ٦٠٪ من الشحنات عن طريق السكك الحديدية، وتبقى كل من الشحنات الواردة والصادرة لمدة يومين في المتوسط في منطقة الفرز. والمطلوب هو تطوير مجموعة من المواصفات الخاصة بميناء الحاويات وإعدادها من حيث عدد مراسي السفن وطول رصيف الميناء ومساحة ساحة الفرز (بالفدان) والنوع المقترح للجزء المخصص من الميناء لعمليات المقطورات المحمولة على عربات حديدية مسطحة مع سعته. اذكر أي مرافق أخرى يجب أخذها في الاعتبار.

٩ - تستقبل محطة سكك حديدية مشتركة ١٨٠٠ طن من البضائع يومياً تصل داخل ٩٠ مقطورة محمولة على عربات مسطحة تحمل المقطورة الواحدة ٢٠ طناً في المتوسط من البضائع . كم عدد مركبات التوصيل المطلوبة لتوزيع هذه الشحنة محلياً إذا كانت الشاحنة الواحدة تستطيع نقل ٥ أطنان للرد الواحد وتستغرق ٤ ساعات للرحلة الواحدة ذهاباً وعودة؟ ما مقدار الوفر في عدد المركبات لو كانت مركبة التوصيل تستوعب طنين إضافيين آخرين؟

١٠- ما فوائد تجميع الأنشطة الصناعية وتركيزها في عدد محدود من المناطق داخل المدن؟

١١- ارسم أو وضح بيانياً جميع أنشطة التنسيق الممكنة لشحن الوقود وإيصاله من مصفاة رأس تنورة على الشاطئ الشرقي للمملكة العربية السعودية إلى محطة لبيع الوقود في أحد شوارع مدينة جـدة على الشاطئ الغربي .

١٢- ما المقصود بحقوق استخدام السكة ، وما الحالات التي توصل إلى هذا النوع من التنسيق؟ ولماذا؟

١٣- تزن عربة حديدية مسطحة ١٨ طناً وتتسع لحمولة ٦٠ طنا منتجا ولمقطورتي شاحنات تزن الواحدة منهما فارغة ٨ أطنان وتحتوي على ٢٠ طنًا منتجًا من الحمولة . أوجد التغير في نسب الوزن الفارغ إلى وزن الحمولة الذي يحدث لسعة العربة الحديدية المسطحة عند إستخدامها لنقل مقطورات الشاحنات على ظهرها ، إذا لم تكن النتائج مرضية ، فكيف يمكن تحسينها؟

١٤- يجري تصميم مدرج طائرات مفرد لخدمة مزيج من الطائرات يتكون من ٢٠ طائرة نفاثة بثلاثة محركات و ١٤٤ طائرة نقل بمحركين و ٣٠ طائرة مروحية خفيفة بمحركين . فإذا كان المطار مفتوحاً لمدة ١٨ ساعة في اليوم ، احسب السعة العملية للمدرج الساعيّة والسنوية عند التشغيل : (أ) بقواعد الطيران بالرؤية و (ب) بقواعد الطيران بالأجهزة .

١٥- باستخدام منحنيات أداء الطائرات ، حدد الطول الأدنى المطلوب لمدرج طائرات جاف يستقبل طائرات من النوع (DC-9-30) التي تزن ٨٠٠٠٠ رطل والذي سوف ينشأ عند ارتفاع ٢٠٠٠ قدم فوق سطح البحر في منطقة تصل درجة حرارتها المتوسطة في أشد الأشهر حرارة ٨٠ درجة فهرنهايت ، مع العلم بأن طول مدى المسافة التي تقطعها الطائرة وهي محملة لأقصى جمولتها هو ٤٠٠ ميل . أيضاً ، حدد الطول الأدنى لمدرج هبوط للنوع نفسه من الطائرات مع وجود رياح جانبية بسرعة ٥ عُقَد : (أ) لمدرج جاف و (ب) لمدرج مبلل وعدم وجود رياح جانبية .

قـــراءات مقترحـــة
SUGGESTED READINGS

1. "Yards and Terminals", Chapter 14, *Manual for Railway Engineering (Fixed Properties) of the American Railway Engineering Assocication,* American Railway Engineering Association, Chicago, Illinois.
2. E. W. Coughlin, *Freight Car Distribution and Car Handling in the United Stateds,* Association of American Railroads, Washington, D.C.

3. *Principles of Freight Terminal Operation, American Truckers Association,* Washington, D.C., 1950.
4. Wilbur G. Hudson, *Conveyors and Related Equipment,* 3rd edition, Wiley, New York, 1054, chapters 1, 12, 13, 14 and 22.
5. "Design of Ore Docks", *Proceedings of the A.R.E.A,* Vol. 36, 1935, p. 255 ff., American Railway Engineering Association, Chicage, Illinois.
6. Harold M. mayer, *The Port of Chicago and the St. Lawrence Seaway,* University of Chicago Press, Chicago, Illinois, 1957.
7. C. L. Sauerbier, *Marine Cargo operations,* Wiley, New York, 1956.
8. R. W. Abbett and E. e. Halmos, "Harbor Engineering", in R. W. Abbett, *American Civil Engineering Practice,* Volume II, Wiley, New Yourk, 1956, Chapter 21, especially the section entitled "Marine Terminals" by maurice Grusky.
9. *Manual for Railway Engineering (Fixed Properties) of the American Railway Engineering Association,* American Railway Engineering Association, Chicago, Illinois, chapter 14, "Yards and Terminals".
10. "Hump yard Systems", *American Railway Signaling Principles and Practices,* Signal Section, Association of American Railroads, Chicago, Illinois, Chapter 21.
11. Alonzo DeF. Quinn, *Design and Construction of Ports and Marine Structures,* McGraw-Hill, New York, 1961.
12. Phillps Morre, "Airport Engineering", in R. W. Abbett, *American Civil Engineering Practice,* Volume I, Wiley, New York, 1956, chapter 5.
13. R. Horonjeff, "Planning and Design of Airports", McCraw-Hill, New York, 1962.
14. D. C. Wolfe, "Huge Oil Pier Built in Open Water", *Engineering News-Record,* May 25, 1950, pp. 34-39, McGraw-Hill, New York.
15. "The New Orleans Union Passenger Terminal", various articles, *Railway Age,* Simmons-Boardman, New York, April 26, 1954, pp. 22-31.
16. "P. R. r. Unveils New Ore-Unloading Terminal", *Railway Age,* March 15, 1954, pp. 45-47.
17. "Modern Lake Plrt Transfer Facility Open for Business at Teledo, Ohio", *Railway Age,* May 1, 1948, pp. 32-37.
18. "Phosphate—from Train to ship", *Railway Age,* August 14, 1948, pp. 60-63. "Canton Railroad Expands Ore Docks", Railway Age, December 15, 1952, pp. 52-53.
19. Henry D. Quimby, "Coordinated Highway-Transit Interchange Stations:, *Highway Research Record 114,* Highway Research Board, Washington, D. C.
20. Alfred Hedifine, Consultant-Associate, Parsons, Brinckerhoff, Quade, and Douglas, "Storage and Retrieval of Containers", *American Import and Export Bulletin,* Vol. 73, No. 1, July 1970.
21. Gene Dallaire, "Dallas-Fort Worth : World's largest, Best-Planned Airport", *Civil Engineering,* American Society of Civil Engineers, July 1973, pp. 53-61.
22. *"Transportation and Parking for Tomorrow's Cities",* Wilbur Smith and Associates under commission from the Automobile Manufacturers Association, July 1966.
23. "Opportunity Park Garage", PBD&Q *"Notes"*, Parsons, Brianckerhoff, Quade, and Douglas, Engineers, Summer 1972, pp. 3-11.
24. Walter C. Boyer, "Containerzation—A System Still Evolving", *Journal of the Waterways, Harbors, and Coastal*

Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil engineers, November 1972, pp. 461-473.

25. *"Airport Master Plans"*, Federal Aviation Administration, U. S. Department of Transportation, Washington, D. c., February 1971.
26. A. W. Thompson "Evolution and Fututre of Airport Passenger Terminals", *Journal of the Aero Space Transport Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers,* Vol. 90, No. AT2, Proceedings Papers 4070, October 1973.
27. "Intermodal Transfer Facilities", *Transportation Research Board Record 505,* Transportation Research Board, National Research Council, TRB, 1974, ISBN 0-309-02298-3.
28. *Use of Containeri'ation in Freight Transport.* Highway Research Record No. 28, Highway Research Board, National Academy of Science, Washington, D. C., 1969.
29. Eric Rath, *Container Systems,* Wiley, New York, 1973.





الفصل الحادي عشر

التحكم بالتشغيل
OPERATIONAL CONTROL

وظائف التحكم
FUNCTIONS OF CONTROL

تعريف التحكم وتطبيقاته Definition and Application. يعرف التحكم في التشغيل بأنه تنظيم حركة المركبات والمرور لتحقيق أقصى مستوى من السلامة والكفاءة في استغلال مرافق النقل ومعداته، وقد يكون التحكم بسيطاً أو بالغ التعقيد.

ويهدف التحكم لتحقيق سلامة الحركة واعتماديتها. إذ يجب تلافي حصول تلامس (تصادم) بين المركبات ومنعه، ولكن، مع ذلك، هناك حاجة لتحريك المركبات بأسرع ما يمكن مع حدوث أقل قدر من التأخير لتسهيل الوصول السريع للمركبات إلى وجهاتها. وهذان الهدفان يتعارضان مع بعضهما أحياناً، فمثلاً، لا يمكن للمركبات أن تتحرك بسرعات عالية وهي متراصة خلف بعضها بمسافات بينية قريبة دون تعرضها لأخطار الاصطدام. والسائق المسؤول والمتعقل هو الذي يجعل السلامة هدفاً سامياً بالرغم من إجهاد عملية القيادة والمضايقات التي يتعرض لها من بعض السائقين المتهورين.

وبالإضافة إلى أهداف السلامة والاعتمادية والسرعة، هناك هدف آخر يتمثل في تحقيق أقصى سعة مرورية ممكنة. وهذا يشمل أقصى حمولة (بناء على القواعد التي شرحناها سابقاً) وأقصى سرعة مسموح بها والجدولة الزمنية للرحلات والاستخدام الفعّال لسعة الطريق. وقد ناقشنا، أيضاً، في السابق القواعد التي تحكم السرعة وسعة الطريق.

وتشمل عمليات التحكم الإحتفاظ بسجلات لحركة جميع المركبات - القطارات والطائرات والسفن والشاحنات والحافلات - وتوجيه حركتها عند التلاقي والتجاوز (لبعض أنواع وسائل النقل)، ومتابعة حركتها

في البحر وفي المطارات، واستقبال البضائع وإرسالها مع ضبط حركة وحدات الشحن. ويشمل التحكم، أيضًا، توصيل المعلومات عن الحركات الجارية والمرتقبة، وذلك للأغراض التشغيلية والتخطيطية.

أما سبل التحكم بالتشغيل ووسائله فتشمل الأنظمة والقوانين، والإجراءات التشغيلية القياسية، واستخدام العلامات والأعلام، والإشارات الضوئية، ووسائل الاتصالات، والسجلات والتقارير. كما تستخدم الدوائر التلفزيونية المغلقة، وأجهزة الحاسوب وأنظمة البيانات الالكترونية، للقيام بالمراقبة وتمييز هوية المركبة والتحكم الآلي الكامل بجميع أجزاء نظام النقل أو بعضه، وتوفير المعلومات المطلوبة لاتخاذ القرارات التشغيلية اليومية.

الجهات الإشرافية Supervising Agencies. تتحكم عدة جهات مختلفة في التشغيل حسب الأحوال السائدة. وتتحكم كل من شركات السكك الحديدية والسيور المتحركة والعربات المعلقة وخطوط الأنابيب في عمليات تشغيل أنظمتها بأنفسها. في حين تخضع السيارات الخاصة لقواعد سلامة القيادة على الطريق وللعلامات والإشارات المرورية التي تضعها عادة البلديات أو إدارات الطرق وتشرف على الالتزام بها شرطة المرور. وبالإضافة إلى خضوعها لقواعد المرور وأنظمته على الطرق العامة، تتحكم خطوط النقل بالشاحنات والحافلات في عملياتها التشغيلية من خلال موظفيها من مُرحّلين ومشرفين. ويتحقق التحكم بحركة السفن من خلال القوانين الملاحية البحرية والعلامات والمنارات المضيئة التي تزود بها الممرات المائية وتشرف على الالتزام بها مصلحة خفر السواحل، وكذلك من خلال موظفي شركة النقل المائي من مرحلين ومشرفين. وفي النقل الجوي، يتحكم بحركة طائرات الخطوط الجوية المختلفة بوساطة كل من مرحلي الشركة وموظفي برج المراقبة في المطار وأنوار مدرج المطار ومختلف المساعدات الملاحية اللاسلكية ومراكز التحكم بالمجال الجوي.

ومن المسائل المهمة في هذا المضمار هي مقدار التحكم الذي يجب القيام به آلياً ومقدار التحكم الذي يجب تركه للسائق أو المشغل. ففي بعض الأنظمة، لا يقوم المشغل سوى بوظيفة المراقبة، وأحياناً، يُعطى القدرة على التدخل والسيطرة في حالة الطوارئ أو في حالة تغيير خطة التشغيل. والاتجاه السائد حتى يومنا هذا يتمثل في تزويد المشغل أو المرحل بأقصى قدر من الأجهزة المساعدة الالكترونية والآلية، ولكن، مع ترك سلطة اتخاذ القرارات النهائية له. وتشمل الصعوبات في هذا المجال كلا من زيادة التعقيد في تصميم أجهزة التحكم، والسرعات العالية التي تصل إلى سرعة الصوت أو تتجاوزه لبعض وسائل النقل، وزيادة الكثافات المرورية في طرق النقل ذوات السعات المحدودة، وذلك من جانب واحد مقابل زمن رد الفعل للمشغل وقدرة العقل والجسم البشري للتجاوب مع تلك الصعوبات والقدرة على اتخاذ قرارات من الجانب الآخر. لذا، فإن الحلول النهائية لتلك الصعوبات تكمن في مجال هندسة العوامل البشرية حيث يلتقي عالم النفس مع المهندس على أرضية مشتركة.

الاتصالات
COMMUMICATIONS

استعمالاتها Use. تعتمد أنظمة التشغيل البدائية على العادات والأعراف المعمول بها، والقواعد المرعية والعلامات والأعلام والأوامر. أما العمليات الحديثة للتحكم بالتشغيل فلا يمكن أن تتم بنجاح دون توافر نظام مناسب

للاتصالات . وقد كانت المبرقات ثم الهاتف لاحقاً وسائل اتصال كافية لحاجات النقل في الماضي القريب ، ولكن عمليات اليوم تتطلب أنظمة متطورة للاتصالات تشمل كلاً من الهاتف واللاسلكي والمايكرويف والمبرقات الكاتبة وحتى التلفزيون . وتستعمل السفن الهاتف للاتصال بالشاطئ أو الاتصال بالسفن الأخرى سواء في البحيرات أو الممرات المائية داخل اليابسة ، وإلى حد معين ، في أعالي البحار . وتقوم شركات السكك الحديدية وشركات خطوط الأنابيب إما باستعمال خطوط هاتفية تجارية مستأجرة مع تركيب دوائر خاصة بها على تلك الخطوط الهاتفية لزيادة قنوات الاتصال ، أو تركيب خطوط هاتفية سلكية ولاسلكية خاصة . وتستعمل وسائل النقل هذه أنظمة المايكرويف لتوفير اتصالات موثوقة عبر المسافات الطويلة بغض النظر عن حالة الطقس .

فعلى سبيل المثال ، تتعرض خطوط النقل في المنطقة القطبية للضرر بفعل الكتل والانهيارات الثلجية والفيضانات والرياح والعواصف الثلجية ، وتتعرض عمليات السكك الحديدية ، أحياناً ، للتوقف التام مدة تتراوح بين ساعات و عدة أيام بسبب هذه الكوارث . وقد كان الاعتماد في الماضي على أجهزة اللاسلكي التابعة للشرطة أو الهواة لإجراء الاتصالات في حالة الطوارئ ، ولكن أنظمة المايكرويف التي لا تتأثر بتلك الظروف بدأت تحل محل الخطوط السلكية في المناطق التي تتعرض بكثرة للعواصف الشديدة .

الترحيل Dispatching. من أبرز الاستخدامات الأساسية لأنظمة الإتصالات الترحيل ، أي توجيه المركبات ومتابعتها أثناء حركتها . ويقوم موظفو الترحيل المركزي في كثير من الدول بمتابعة كل من حركة سيارات الأجرة وشاحنات المقاولين ومركبات الخدمات وأساطيل المصانع ومركبات الشحن في المحطات وعلى الطرق ، وإرشادها باستمرار و يظلون على اتصال مستمر باللاسلكي مع كل مركبة يسجلون رحلاتها في سجل خاص ويوجهون المركبات إلى المهام التالية المطلوبة منها ، ويوجهونها ، أيضاً ، إلى طلبات النقل المستحدثة حسب الحاجة . وبدون توافر الاتصالات اللاسلكية ، يلجأ السائقون للاتصال من نقاط محددة على طول خط النقل أو عندما ينجزون المهمة المسندة إليهم .

وفي النقل البحري ، يُسلّم مالك الباخرة أو وكيل الشحن في الميناء المتوقع وصول السفينة أو البضاعة إليه رسالة مسبقة أو برقية أو اتصالاً لاسلكياً يعلمه بالموعد المتوقع لوصول الباخرة وتقرير بمحتوياتها من البضائع . ويتم تأكيد موعد الوصول لاحقاً عن طريق إتصال السفينة نفسها لاسلكياً عند اقترابها من الميناء . وعندما تكون مياه الاقتراب من الميناء أو المرفأ صعبة ملاحياً يرسل قارب إرشاد محلي من الميناء أو إدارة القناة لإرشاد حركة السفينة من الميناء وإليها . ويتم تسليم طلب خدمة زورق القطر إما لاسلكياً من السفينة أو عبر وكلاء السفينة في الميناء .

وفي داخل الميناءيوزع مدير الميناء ويخصص مواقع رسو السفن وأولوياتها على الأرصفة العامة وفي مراسي السفن . وعندما تسود حالات من الضباب أو العواصف تجعل عمليات المرفأ غير آمنة ، فإن مدير الميناء قد يطلب من جميع السفن التوقف عن الحركة ويغلق الميناء في وجه الملاحة . ويبقى مدير الميناء مطلعاً على تحركات السفن ومواقعها عن طريق الرادار بالإضافة إلى وثائق الميناء والإتصال اللاسلكي المباشر مع السفن .

وتبقى مراكب الشحن السائب في البحيرات العظمى على اتصال مع بعضها ومع محطاتها ومكاتب شركاتها الموجودة في نقاط متوسطة على طول خط رحلتها (والتي تقوم بتوجيه السفن إلى الموانئ المطلوبة) ، وأيضاً ، مع

موظفي الأهوسة وقوات خفر السواحل. وبمعرفة وقت وصول المراكب وسرعاتها وأنواعها وسعاتها مسبقاً، يمكن تجهيز خامات المعادن والفحم والحبوب . . . إلخ وإعدادها لتحميلها في تلك المراكب والاستعداد لتزويد المراكب بالتموين والوقود بسرعة لتقليل زمن مكوثها في الميناء. وعند وصول المراكب المحملة إلى محطاتها النهائية، يجب توفير عدد كاف من عربات السكك الحديدية أو الصنادل أو أماكن التخزين لاستقبال الشحنات الواردة.

التحكم بتشغيل الطرق الجوية Operational Control - Airways. تشرف مراكز التحكم بالمجال الجوي المنتشرة في أماكن استراتيجية على طول الممرات الجوية إشرافاً مباشراً على حركة الطيران، ففي الولايات المتحدة، مثلاً، يشرف ٢٠ مركزاً من مراكز التحكم المنتشرة على طول وعرض نظام الطرق الجوية الاتحادية المختارة في مواقع استراتيجية على الرحلات الجوية في المجال الجوي الأمريكي. وقبل إقلاع أي طائرة، يجب على كل طيّار تسليم خطة معتمدة لرحلته ويلتزم بهذه الخطة بحذافيرها خلال رحلته الجوية. كما يتصل أثناء الرحلة دورياً بمراكز التحكم وبمرحلي شركة الطيران التي ينتمي إليها الذين يقومون بتسجيل سير الرحلة من حيث موقعها وأحوال الرحلة. وعادة ما تقوم شركات الطيران التجارية بتكليف مرحليها بالمتابعة الدائمة والاتصال المباشر مع كل رحلة من رحلاتها، وأيضاً، بالتنسيق المستمر مع مراكز التحكم الجوية أثناء الرحلة. ويزود الطيار بمعلومات الطقس وظروف الحركة في الممر الجوي وأقصى ارتفاع عند نقطة الهبوط التالية مع كثافة حركة الطائرات هناك. ويجب على الطيار أن يحصل على موافقة مركز التحكم المسؤول قبل أن يدْخل أي تغيير على خطة الرحلة من حيث وجهتها أو ارتفاع تحليقها أو اتجاهها.

وعندما تقترب الطائرة من نقطة هبوطها، تنتقل مسؤولية متابعة الرحلة إلى برج المراقبة والتحكم في المطار حيث يسلم الطيار، عندئذ، تعليمات الهبوط (أو الانتظار في الجو) من حيث أحوال الطقس وأقصى ارتفاع للتحليق وأولوية الهبوط ورقم المدرج المخصص لهبوط طائرته.

وتتحكم أبراج التحكم في الحركة بالمطارات بحركة الطائرة بالمطار وبالمجال الجوي المحيط بالمطار، وذلك باستخدام الإشارات الضوئية وأجهزة الرادار المختلفة. ويتسلم برج التحكم في المطار ويراقب الرحلات عندما تكون في حدود نحو ٣٥ ميلاً (٥٦ كم) من برج المراقبة في المطار. وتخضع الطائرة تماماً لسيطرة برج المراقبة عندما تكون ضمن دائرة نصف قطرها ٧ أميال (١١ كم) حول برج المراقبة. ويتحكم البرج المحلي بحركة الطائرات التي تطير حسب قواعد الطيران بالرؤية، وذلك داخل المطار وحوله. كما يوجه فريق التحكم الأرضي حركة الطائرات عندما تكون على الأرض، بينما يعطي برج المراقبة الإذن بالهبوط أو الإقلاع والتعليمات للطائرات القادمة والمغادرة للمحافظة على مسافات فاصلة بين الرحلات القادمة والمغادرة التي تطير حسب قواعد الطيران بالأجهزة.

وتطير الطائرات النفاثة التجارية التي تسير بسرعة الصوت وتحلق على ارتفاعات عالية في ممرات مخصصة لها يصل عرض الممر إلى ٤٠ ميلاً ويتراوح ارتفاعه بين منسوبي ٢٤٠٠٠ و ٣٥٠٠٠ قدم، وذلك لفصل هذه الطائرات عن الطائرات العسكرية التي تحلق، أيضاً، على الارتفاعات نفسها. ويتم الفصل بين الطائرات النفاثة عن طريق المراقبة بالرادار التي تقوم بها محطات قيادة السلاح الجوي التي يوجد فيها موظفون مدربون للتحكم بطرق الملاحة الجوية ومخصصون لمراقبة حركة الطائرات النفاثة التجارية وحمايتها. ولا يسمح لأي طائرة بدخول

هذه الممرات أو عبورها دون الحصول على إذن من مراكز المراقبة هذه إلا إذا كانت الطائرة مزودة بجهاز المستجيب، وهو جهاز رادار يظهر على شاشته صورة رادارية للمجال الجوي المحيط وهو أفضل وأسرع تمييزاً من الماسح الراداري البسيط. ويعد دخول طائرة عسكرية غير مجهزة بذلك الجهاز أو عبورها للممر الجوي الخاص بالطائرة النفاثة التجارية مخالفة يعاقب عليها القانون.

ومراكز التحكم بطرق الملاحة الجوية مسؤولة مسئولية أساسية عن توجيه جميع عمليات الطائرات التي تطير حسب قواعد الطيران بالأجهزة في المجال الجوي الخاضع لسيطرتها. وتوجه هذه المراكز الحركة لضمان وجود مسافة رأسية فاصلة بين الطائرات قدرها ١٠٠٠ قدم (٣٠٥ أمتار) وفجوة زمنية فاصلة بين الطائرات التي على مستوى الارتفاع نفسه قدرها ١٠ دقائق. ويقدم المراقبون الجويون المعلومات لملاحي الطائرات حول كل من الأخطار المحتملة للرحلة وظروف الطقس والتأخيرات المتوقعة وتقديم المساعدة الملاحية، أي السماح بتغيير خط السير أو الارتفاع لتفادي العواصف الرعدية. وتتحكم مراكز التحكم بطرق الملاحة الجوية في الرحلات التي تطير حسب قواعد الطيران بالأجهزة في المجال الجوي الخاضع لكل منها، كما تُنسِّق مع المراكز المجاورة لها للحفاظ على سلامة الملاحة الجوية والتدفق المتنظم لحركة الطائرات.

ترحيل القطارات Train Dispatching. تشغل شركات السكك الحديدية قطاراتها باستخدام أحد أفضل أنظمة الترحيل المتطورة. ويتحكم مرحل القطارات بجميع حركة القطارات في المنطقة المخصصة له والتي يتراوح طولها بين ١٠٠ و ٥٠٠ ميل (١٦١ إلى ٨٠٥ كم) وذلك بمساعدة مشغلين موجودين في مكاتب محطات التحكم ومحطات ترتيب القطارات المنتشرة على طول الخط والذين يقومون بإبلاغ المرحل لاسلكياً وقت مرور كل قطار أمام مكاتبهم. ويسجّل المرحل، بدوره، أوقات مرور كل قطار في سجل حركة القطار. وتتم حركة القطارات بناء على جداول زمنية وقواعد وإشارات محددة، وتنشأ، أحياناً، حالات تتطلب قيام قطارات إضافية أو حالات طارئة لا تغطيها القواعد المتبعة، وحينذاك، يقوم المرحل بإصدار أوامره إلى القطارات المعينة وتسليم تلك الأوامر لأطقم تشغيل القطارات والمحركات عن طريق المشغلين المنتشرين على الخطوط. وللمرحل الصلاحية المطلقة لإلغاء أي أوامر سابقة أو قواعد، ويستطيع وقف الجداول الزمنية للقطارات أو تغييرها عن طريق إصدار أوامر للقطارات. ويمكن للمرحل أو المشغلين المنتشرين على الخطوط، أيضاً، الاتصال مباشرة باللاسلكي مع أطقم تشغيل القطارات والمحركات لتبادل المعلومات حول سير الرحلة.

التحكم المركزي بحركة القطارات Centralized Traffic Control. يوفر التحكم المركزي بحركة القطارات القدرة على التشغيل المباشر لجميع المفاتيح والإشارات الواقعة في منطقة معينة تتراوح بين أميال قليلة معدودة و مئات الأميال المنتشرة. وفي هذه الحالة، فإن المرحل يجلس أمام لوحة مضيئة مرسوم عليها بيانياً جميع السكك الحديدية الخاضعة لتحكمه وبها لوحة فيها أزرار التحكم. انظر الشكل (١١ ,١). ويظهر على اللوحة البيانية أنوار تشير لمواقع القطارات وحركاتها ومواقع المفاتيح والإشارات ووضعها. وبالتحكم بهذه العناصر من خلال الأزرار

والأذرعة الموجودة في لوحة التحكم، يستطيع المرحل الحصول على أفضل وضع تقابُل أو تلاق بين القطارات عند مختلف تفريعات التجاوز والتلاقي في السكك المفردة، وغالباً، دون حدوث تأخير لأي من القَطارين المتقابلين. ويمكن تطبيق هذا النظام على عمليات السكك المزدوجة ولكن استخدامه الرئيس هو في زيادة السعة المرورية لخطوط السكك المفردة، مما يؤدي، أحياناً، إلى تأجيل الحاجة لازدواجية السكك إلى أجل غير مسمى أو السماح بتخفيض عمليات السكك المزدوجة إلى عمليات سكك مفردة.



الشكل (١١,١). نظام تحكم مروري مركزي.

(Courtesy of General Tem, Baltimore and Ohio, Akron, Ohio.)

وكانت أنظمة التحكم المركزي في بدايتها تستخدم سلكين يمتدان من كل مفتاح أو إشارة إلى لوحة التحكم الرئيسية. ومع زيادة عدد الوحدات والمسافات، فإن حجم الأسلاك والمعدات يزداد زيادة ضخمة مما يحد من قدرة التحكم بما لا يزيد على ٢٠ إلى ٣٠ ميلاً (٣٢ إلى ٤٨ كم) من السكك. وقد أدخل بعد ذلك نظام النبضات المشفرة التي ترسل عبر سلكين، فقط، من مركز التحكم إلى المفاتيح والإشارات المزودة بمتتبع للشفرات مما يجعل كل واحدة منها تستجيب للشفرة الخاصة بها، فقط، مما ساعد على زيادة السعة زيادة كبيرة وعلى إطالة المسافات التي يمكن التحكم بها مركزياً. ويمكن حتى زيادة المسافات زيادة أكبر عن طريق تركيب خطوط اتصال إضافية خاصة بالناقل المعين على أسلاك الخط الحديدي المشترك. وتتأثر خطوط التحكم بالإشارات بالرياح والعواصف

الثلجية شأنها كشأن خطوط الاتصالات. وأحد الحلول لذلك هو دفن الأسلاك تحت الأرض. ولكن، يمكن إلغاء أسلاك الخطوط تماماً باستخدام اللاسلكي والمايكرويف. ويمكن لموجات اللاسلكي عالية التردد أن تحمل شفرات كما في الأسلاك، ويجب أن تزود كل محطة ميدانية بمعدات لتتبع الشفرات والتقاطها وإرسالها مع مصدر للطاقة. ويجب ملاحظة أنه لا يكفي أن تلتقط المعدات الميدانية الشفرات المرسلة من مركز التحكم، بل يجب، أيضاً، أن تستجيب المفاتيح والإشارات بشفرات ترسلها إلى مركز التحكم لتشير على لوحة التحكم بأن الاستجابة قد تمت بصورة صحيحة للأوامر المشفرة المرسلة من مركز التحكم.

وتتيح التطورات الحديثة في هذا المجال تركيب طريق من السكك الحديدية عن طريق تغيير وضع إشارات السكك ومفاتيحها بوساطة تحريك عدد قليل من أذرعة لوحة التحكم الرئيسة. وتصدر لوحة التحكم التعليمات لجميع المفاتيح والإشارات المعنية حسب تسلسل مناسب بدلاً من تحريك أزرار التحكم الفردية لكل مفتاح وإشارة كما كان الحال في النماذج السابقة.

عمليات ساحات السكك الحديدية Yard Operation. يتم في عمليات الساحة إرسال قائمة بمكونات القطار من العربات بوساطة المبرقة الكاتبة إلى الساحة التالية على خط سير القطار، وذلك قبل وصوله. وتعد قوائم بمفاتيح السكك التي تشير إلى السكك المخصصة لكل عربة (بأرقام العربات) وترسل بالمبرقة الكاتبة إلى مكتب مدير عمليات ساحة الفرز (بالقمة الصناعية)، أو يمكن تسجيل المعلومات نفسها على أشرطة ممغنطة ليجري إدخالها في نظام التحكم بالحاسوب الذي يقوم آلياً بتحريك السكك والمفاتيح لفرز العربات. وتُبلّغ القطارات الواردة لاسلكياً بالسكك التي يجب أن تسلكها داخل ساحة الاستقبال. ويتيح استخدام الماسحات التلفزيونية تسجيل أرقام العربات والرموز المكتوبة عليها عند دخول القطارات الواردة أو الصادرة وخروجها مما يعطي سجلاً أساسياً بمحتوياتها أو قد تستخدم هذه السجلات لتدقيق البيانات المرسلة عبر المبرقة الكاتبة بمحتويات القطار من العربات. وتبقى قاطرات الساحة على اتصال بمدير الساحة إما لاسلكيا أو عن طريق الهاتف أو أنظمة مكبرات الصوت الثنائية، ويقوم مشغلوها بالإبلاغ عن سير العمل وشرح أسباب التأخير واستلام أوامر جديدة في مواقعهم. كما يقوم فريق فحص العربات بمثل هذه الاتصالات باستخدام أجهزة الاتصال اللاسلكية المتنقلة. ويُبْلغ مشغلو المفاتيح والتحويلات مدير الساحة لاسلكياً بسير العمل وأعداد العربات التي جُلبت للساحة والأوقات المتوقعة لوصولها وأسباب التأخيرات ومقاديرها. كما تستخدم الأنابيب الهوائية لنقل أوراق الشحن من ساحة القطارات الواردة إلى مكتب مدير الساحة ومن المكتب إلى ساحة المغادرة.

أنواع أخرى للتحكم بالسكك الحديدية Other Railroad Controls. عادة ما يتم، أيضاً، التحكم بمحولات السكك الحديدية الرئيسة أو مفاتيحها في مجمعات السكك المتقاطعة والمتداخلة، بالإضافة إلى التقاطعات القابلة للتحريك والجسور المتحركة والإشارات، كما يتم تركيب الطرق الحديدية من عدة سكك قائمة. وتعد عمليات تشغيل المفاتيح والأقفال والإشارات عمليات مترابطة ترابطاً كبيراً إذ لا يمكن تحريك أيٍ منها إلا بترتيب مسبق بأمان.

وتصمم السكك المتداخلة تصميماً يتطلب أن تكون جميع أجزاء الطريق الحديدي والإشارات التي تحكمها مركبة بمحاذاة جيدة بدون أية طرق أخرى متعارضة معها أو إشارات متعارضة. ويجب أن تكون الطرق الحديدية التي يتم تركيبها من عدة سكك قائمة خالية من جميع أنواع العوائق مثل السكك المنحرفة والجسور المفتوحة والمفاتيح المفتوحة التي ينبغي إزالتها قبل أن تعطى إشارة للسماح بحركة القطارات. وفي الماضي، كانت أذرعة ميكانيكية تستعمل لتركيب السكك مع بعضها، ولكن الطرق الحديدية الحديثة تعتمد على التحكم الكلي بالمرحلات بالإضافة إلى حماية السكك المترابطة عبر المفاتيح والإشارات خارج مبنى محطة السكك الحديدية بوساطة دوائر الربط والتحكم الموضوعة فوق دوائر السكك الكهربائية. ويمكن باستخدام أنظمة الترانزستور لنقل إشارات التحكم وأوامره، تحقيق توفير في التكاليف وزيادة الاعتماد على التشغيل عن طريق أزرار لوحة التحكم وزيادة سرعة التشغيل وتقليل الحاجة للصيانة.

وعندما تكون مجموعة المفاتيح معقدة بعدة تقاطعات وتفرعات للسكك، فإن تركيب الطرق الحديدية يدوياً يستغرق وقتاً طويلاً ويكون شاقاً، ويتيح ما يعرف بأنظمة الدخول والخروج في الطرق الحديدية المتداخلة ضبط جميع المفاتيح والإشارات في تركيب طريق حديدي بمحاذاة كاملة آلياً، فقط، عن طريق الضغط على زر معين عند كل من نهايتي الطريق المرغوب فيها.

ومن الاختراعات الحديثة في التحكم بالمفاتيح تركيب طريق حديدي آلياً بوساطة القطار أثناء اقترابه من نقطة الافتراق. حيث يتم تحفيز نظام ميكانيكي لتشغيل المفاتيح عن طريق استجابته الحثية لتردد معين ينطلق من أجهزة إرسال صغيرة. وعندما ترغب القطارات في سلوك طريق ما، فإنها ترسل إشارات ترددية مناسبة لتلك الطريق التي تستجيب لها المفاتيح تباعاً. وعندما تريد القطارات أن يكون وضع المفتاح معكوساً، فإنها ترسل إشارات بتردد مختلف لتحصل على التغير المقابل في وضع المفاتيح.

ولقد جرى استخدام اللاسلكي بنجاح في التحكم بالقطارات في العمليات الميدانية. وبذا أصبح الوضع جاهزاً للتشغيل الآلي الكامل للقطارات خصوصاً خدمة النقل العام السريع بالقطارات التي ربما يوجد فيها مشغل داخل القطار ولكن دون حاجة لوجود أطقم من ملاحي القطارات أو المحركات. كما تتوافر، أيضاً، أنظمة حثية مختلفة.

التمييز الآلي للعربات Automatic Car Identification. تعد أنظمة التمييز الآلي للعربات أحد التطورات الحديثة. وهي تستخدم ماسحات إلكترونية توضع على جانب السكة الحديدية لقراءة الأرقام والرموز المكتوبة على العربات والتي تتكون من عدة أنماط لخطوط حمراء وبيضاء وزرقاء مرسومة على جانبي العربات. وتُشغّل الماسحات وتضاء آلياً عند اقتراب القطار وترسل أشعة على جانب العربة المارة لتنعكس تلك الأشعة الضوئية على الخطوط المرسومة على العربات إلى رؤوس الماسحات مرة أخرى والتي تقوم بتحليل الرموز الملونة وتدقيقها. ثم تنقل تلك البيانات إلى وسائل تخزين ممغنطة لاستخدامها في إعداد قوائم المفاتيح اللازمة بوساطة الحاسوب ولإصدار التقارير وتوزيعها ولتوفير معلومات عن موقع أية عربة معينة وحركتها.

ويستخدم نظام التمييز هذا، أيضاً، في محطات الحاويات، حيث تتحرك الماسحات المثبتة على ذراع متحركة إلى أعلى الحاوية أو المقطورة الموجودة في منطقة الحجز أو الفرز وإلى أسفلها . ويتم إجراء المسح لجميع الوحدات الموجودة وتسجيل بياناتها على شريط ممغنط أو يتم نقلها بوساطة اللاسلكي.

التحكم المركزى بالنقل Centralized Transport Control. يشبه أسلوب ترحيل شحنات الزيت عبر خط الأنابيب أسلوب ترحيل القطارات من عدة أوجه، إذ يقوم المرحل بالاتصال المباشر والسيطرة الكاملة على المحطات المتوسطة على طول الخط . ويرسل الأوامر إلى كل محطة بخصوص المتغيرات التي تحكم عملية نقل شحنة معينة من حيث الوقت والحجم والضغط والحرارة واللزوجة . . . إلخ . ويزود مشغلو المحطات المرحل والمحطات الأخرى المجاورة بمعلومات الحركة والتفاصيل التشغيلية في محطاتهم . فمثلاً، لا يمكن لمحطة في بداية الخط أن تبدأ بالضخ حتى تتلقى إشعاراً من المحطة التي تليها باستعدادها لاستلام الجريان ومناولته .

وفي حالات الطوارئ، يمكن توجيه الأوامر للمحطة التي في بداية الخط بإيقاف عملية الضخ وتجميع السوائل الواردة إليها في صهاريج تخزين . وقد طُورت أنظمة للتحكم عن بعد مقابلة للتحكم المركزي بحركة السكك الحديدية، والتي تمكن رجلاً واحداً من أن يتحكم في جميع عمليات الضخ .

وعند استخدام التحكم المركزي في عمليات خطوط الأنابيب، فإن لوحة التحكم التي أمام المرحل تحتوي على بيانات بخصوص تشغيل المضخات في محطات التقوية وأوضاع الصمامات ودرجات الحرارة والضغط في نقاط مختارة على الخط . . . إلخ . وتظهر معلومات الجريان على شكل أسهم مضاءة للجريان على لوحة التحكم، وإذا كان خط الأنابيب يستعمل لضخ عدة أنواع من السوائل فإن معدات قياس الجريان ومفاتيح التحويل التي تعمل عن بعد تستطيع أن تشير على لوحة التحكم إلى نوع السائل الذي يجري ضخه وتسمح بإجراء التحويل المطلوب لجريان السائل بين خطوط الأنابيب عن طريق فتح صمامات معينة أو قفلها بالتحكم بها عن بعد . ويتيح هذا النوع من التحكم المركزي بالنقل وسائل للتحكم والتشغيل للصمامات كل على حدة وللمضخات، أيضاً، عبر التحكم الآلي باستخدام الحواسيب بجريان السوائل وتحديد خطوط جريانها . ويمكن تطبيق هذه الطرق والأسس، أيضاً، في التحكم الآلي المركزي في عمليات السيور المتحركة والعربات الهوائية المعلقة .

مراقبة حركة المرور Surveillence and Monitoring. لقد تم تسهيل تدفق حركة المرور على الطرق السريعة داخل عديد من المدن باستخدام نظم المراقبة المختلفة التي تشمل استخدام الطائرات العمودية ونشر مراقبين في الأماكن المهمة على الطرق السريعة، واستعمال دوائر تلفزيونية مغلقة وأنظمة الاستشعار الآلية . فمثلاً، يجمع مشروع مراقبة الطرق السريعة في مدينة شيكاغو الأمريكية بين أنظمة الإستشعار الآلية و مراقبة مداخل الطرق السريعة والتحكم بها من خلال جهاز حاسوب في ٤٨ مدخلاً على طول ٩٠ ميلاً (١٤٥ كم) من الطرق السريعة . وتمنع الإشارات المرورية الضوئية المركبة على مداخل الطرق السريعة، والتي يمكن برمجتها بمعدلات دخول مختلفة، الدخول إلى الطريق السريع عندما تكون حارات الطريق مزدحمة ولا تسمح بالدخول إلا عندما تنخفض كثافة

المرور إلى مستوى معقول. ويمكن، أيضاً، الحصول على أعداد المركبات لأي حارة من حارات الطريق المتعدد الحارات باستخدام أسلاك استشعار أو حسّاسات مدفونة في كل حارة من الطريق. ويمكن تركيب أجهزة استشعار فوق صوتية مساندة تعلق فوق الطريق.

وقد يتم تحليل بيانات التدفق المروري وتقويمها والتي تم جمعت عبر وسائل المراقبة لتوجيه إرشادات لمستخدمي الطريق من خلال لوحات إرشادية مضيئة بخصوص السرعات أو توزيع حارات الطريق أو تغيير المسارات أو التنبيه بحالات الطوارئ والحوادث على الطريق.

وفي حالات الطوارئ، يمكن للسائقين الاتصال بشرطة المرور والجهات المسؤولة عن التحكم المروري بوساطة هواتف خاصة للطوارئ توضع على جانب الطريق وهي إما هواتف عادية أو مجرد سماعة وزر واحد للاتصال المباشر أو بوساطة الهاتف الخلوي النقال أو أجهزة اللاسلكي، ولكن هواتف الطوارئ على جوانب الطرق غالباً ما تتعرض للعبث والتخريب.

وعادة مايراقبُ سائقي الحافلات مفتشون ومراقبون يركبون داخل الحافلة أو يتبعون حركتها في سيارات خاصة، كما يمكن للمرحل أن يبقى على اتصال مع المركبات عن طريق اللاسلكي إذا كانت المركبات مجهزة لذلك. ويعد الاتصال باللاسلكي ضرورة لعمليات نظم الحافلات تحت الطلب حيث يمكن توجيه الحافلة لاسلكياً إلى مواقع معينة يكون فيها ركاب ينتظرون نقلهم. وتستخدم مصلحة النقل العام في مدينة شيكاغو الأمريكية نظاماً آلياً لمراقبة المركبات بوساطة أجهزة لاسلكية وجهاز حاسوب مركزي حيث تُراقَب عمليات نظام النقل العام بالحافلات التابع لها. ويتم ذلك عن طريق علامات استشعار الكترونية منتشرة على مسافات بينية معينة على طول خطوط الخدمة و التي تقوم بالإبلاغ عن وقت مرور المركبة وموقعها. كما تزود المركبات بنظام اتصال لاسلكي ثنائي وجهاز إنذار سري للسائق لاستخدامه عند تعرضه للسطو. ويساعد هذا النظام على ضبط الالتزام بالجداول الزمنية لرحلات الحافلات ويزيد، أيضاً، من السلامة ويقلل من الحوادث الإجرامية وينبه المشرفين للصعوبات والمشاكل التشغيلية.

ويجري تشغيل قطارات بين المدن وقطارات للنقل العام السريع داخل المدن بدون تدخل بشري. وهذا يتم من خلال دوائر كهربائية في السكك أو عبر التحكم باستخدام الحاسوب مع وجود دوائر كهربائية في السكك أو أجهزة استشعار على جانبي السكة. وبالمثل، يمكن ميكنة عمليات نظم النقل المتطورة مثل النقل بالقطارات السريعة ومختلف أنواع نظم النقل العام الفردي باستخدام الحاسوب وأجهزة الاستشعار. وقد طُوّر الأداء الوظيفي والاقتصادي لجميع نظم الإشارات ووسائل التحكم السابق ذكرها مع إدخال الأجهزة التي تعمل بالترانزستور.

الاتصال لغير أغراض الترحيل Nondispatching Communications. بالطبع، هناك مجال واسع لاستخدام الاتصالات في النقل لغير أغراض الترحيل. فهناك الاتصالات التي يجريها الناقلون للحصول على عملاء لهم، واتصالات الإبلاغ عن حالة الطقس وحجز مقاعد للركاب، وطلب عربة حديدية، ومتابعة الشحنات، وعمليات الصيانة، والأمور الإدارية . . . إلخ، وهذه كلها تتطلب استعمال جميع التجهيزات والوسائل المتاحة. كما أن موظفي

الخطوط الملاحية البحرية والناقلين الآخرين يصدرون أوامر لحجز الشحنات أو تغيير ملكيتها وهي لازالت في الطريق أو مخزنة مؤقتاً. كما ترسل قوائم بمحتويات السفن والشاحنات والقطارات مسبقاً عن طريق اللاسلكي أو المبرقة الكاتبة أو جهاز حاسوب من نقطة المنشأ إلى نقطة المقصد.

وتجمع نظم المعلومات الإلكترونية البيانات من جميع أجزاء نظام النقل ونقلها إلى جهاز حاسوب مركزي حيث تخزن تلك البيانات وتعالج للخروج بتقارير مفيدة للاسترشاد بها في العمليات اليومية واتخاذ القرارات الإدارية. وهذه النظم مفيدة خصوصاً لتوفير معلومات عن مواقع المركبات والعربات والسفن والطائرات.

التحكم بالفصل بين المركبات
INTERVAL CONTROL

أنظمة الفصل بين المركبات Interval Systems. من الوظائف الأساسية للتحكم بالتشغيل منع التصادم بين المركبات، وخاصة في الحالات التي بطبيعتها لا يمكن للسائق أن يشعر فيها بوجود مركبة أخرى في طريقه كما في القطارات أو الطائرات عالية السرعة أو السفن في حالة الضباب. وهناك ثلاثة أنظمة عامة متبعة لتوفير الفصل الآمن بين المركبات، وهي : (أ) نظام الفصل الزمني و (ب) نظام الفصل المكاني و (جـ) نظام الرؤية المجردة. وهناك نظم جديدة مازالت تحت التطوير وتشمل ما يسمى بـ «البلوك المتحرك» الذي يمكن فيه لقطار يسير خلف قطار آخر أو مركبة تسير خلف مركبة أخرى أن تستشعر وجود المركبة التي أمامها عن طريق الرادار أو عبر دوائر كهربائية مثبتة في السكة أو الطريق، ومن ثم، تُشغّل أجهزة للتحكم بالسرعة والمحافظة على مسافة آمنة بين المركبتين. ويجري استخدام نظام شبيه بذلك، إلى حد ما، في نظام النقل العام السريع بالقطارات في منطقة خليج سان فرانسيسكو بالولايات المتحدة حيث يتمكن جهاز حاسوب مركزي للتحكم من معرفة موقع أي قطار عن طريق وجوده النسبي على القضبان لسلسلة دوائر من الأسلاك الحثية الموضوعة وضعا موازياً للسكة.

أما النظام المبني على الرؤية المجردة الذي يوجد بشكل رئيس في الطرق الخارجية بين المدن وفي الممرات المائية وفي عمليات الطيران البطيء، فإنه يترك مسؤولية تفادي الاصطدام على كاهل السائقين والطيارين أنفسهم. ولكن ذلك يتطلب مهارات عالية جداً للسائق أكثر من المتوقع للجهد البشري عند السرعات العالية مما قد يسبّب حدوث كوارث قبل أن يتمكن السائق أو الطيار من التصرف. كما أن الإعتماد على الرؤية يكون عديم الجدوى في حالات حجب الضباب أو العواصف أو العتمة للرؤية، وفي مثل هذه الحالات، يمكن للسفن أن تعتمد على أجهزة الرادار لتحذيرها بوجود مراكب أخرى، ولكن ذلك ليس كافياً دائماً كما ثبت من وقوع حوادث تصادم أحياناً بين سفن مجهزة بالرادار.

ويعتمد نظام الفصل الزمني على إبقاء المركبات بعيدة عن بعضها بعدد من الدقائق محدد مسبقاً، ولكن المسافة بين المركبات متغيرة حسب سرعة المركبات. ومن الأمثلة المشهورة لنظام التحكم بالفصل الزمني جداول الرحلات الزمنية للمركبات، ففي النقل الجوي، يحافظ على فاصل زمني قدره ١٠ دقائق بين الطائرات التي تحلق على الإرتفاع نفسه وتسير في الإتجاه نفسه. وقد ذكرنا في فصل سابق أن المسافة المقابلة لذلك تتراوح بين ٣٠ ميلاً

(٤٨ كم) عند سرعة ١٨٠ ميلا / ساعة (٢٩٠ كم/ ساعة) و ١٠٠ ميل (١٦١ كم) عند سرعة ٦٠٠ ميل/ ساعة (٩٦٦ كم/ ساعة). وتحدد قوانين السكك الحديدية وجوب بقاء القطارات بعيدة عن بعضها بمقدار ٥ إلى ١٠ دقائق (متفاوتة بين السكك الحديدية) وحددت أيضاً الفترة الزمنية التي يجب أن تقوم القطارات البطيئة أو المقابلة بإخلاء السكة الرئيسة خلالها للسماح بقطار أسرع أو ذي أولوية بالتجاوز أو التلاقي أو المرور. ويمكن فصل قطارات النقل العام السريع والحافلات بتقاطر زمني يتراوح بين ٢ و ١٠ دقائق.

ولنظام الفصل الزمني عيوب معينة واضحة، فالجداول الزمنية للرحلات خالية من المرونة ولا تسمح بالرحلات الإضافية غير المجدولة (استطاعت السكك الحديدية الأوروبية التغلب على ذلك عن طريق التحديد المسبق لأقصى عدد من الجداول الزمنية التي يمكن للطريق الحديدي استيعابها، ثم توزّع الحركات الإضافية على الجداول الزمنية). وبالإضافة لذلك، فإنه من الصعب المحافظة على الفاصل الزمني عملياً، إذ إن حركة بعض المركبات بسرعة أعلى من المحدد يقلل الفجوة الزمنية بينها وبين المركبات التي أمامها، كما أن السرعات الأقل تسمح للمركبات التي خلفها باللحاق بها. كذلك، فإن قيام المركبة بالتوقف غير المجدول أو الانحراف عن خط السير المحدد أو تغيير سرعتها لأي سبب كان سيؤدي إلى إبطال فاعلية نظام الحماية هذا.

أما في خطوط الأنابيب والسيور المتحركة، فإن الفاصل الزمني بين الشحنات خاضع تماماً لسيطرة المرحل. ونظراً للمرونة التامة للطرق، فإن عامل الفصل الزمني يعتمداعتماداً كبيراً على حجم الحركة المرورية والاستجابة النفسية للسائقين. كما يتحقق الفصل الزمني، أيضاً، تحققاً غير مباشر عن طريق التوقيت المتناسق للإشارات الضوئية المتتابعة والدورة الزمنية للإشارة المرورية. ويمكن الفصل بين السفن عند نقاط الإختناق إما عن طريق تعليمات وإرشادات محددة وإما عن طريق الفاصل الزمني الذي تستغرقه السفينة للمرور عبر هويس أو قناة مائية ضيقة. ويبدو أن نظام الفصل الزمني يكتسب أهميته القصوى في النقل الجوي والسكك الحديدية.

أنظمة الفصل المكاني Space Systems. للتغلب على عيوب الفصل الزمني، طُوِّر نظام الفصل المكاني أو ما يعرف بنظام «البلوك»، حيث تقّسم الطريق إلى عدة أجزاء أو بلوكات ولا يسمح بوجود أكثر من مركبة واحدة في الجزء الواحد في أي وقت إلا تحت ظروف ضرورية يتخذ فيها إجراءات خاصة. ويتم التحكم بعملية الدخول إلى بلوك السكك الحديدية أو عبورها بإشارات البلوك الضوئية، ويمكن تشغيل الإشارات إما يدوياً بوساطة مشغلي محطات إشارات البلوك وتنظيم القطارات، أو آلياً من خلال المرور الفعلي للقطار. وقد تبنت شركات السكك الحديدية في أوروبا مفهوم البلوك للفصل بين القطارات مكانياً.

ويمكن تطبيق نظام البلوك لوسائل نقل أخرى خلاف السكك الحديدية، وتعد الإشارات المرورية الضوئية التي توضع في تقاطعات الطرق والشوارع نوعاً متطوراً من نظام الفصل المكاني أو نظام البلوك. كما أن أحد التطبيقات الأخرى لذلك تتمثل في وضع إشارات مرورية فوق حارات الطرق لبيان اتجاه الحركة في ساعات معينة من اليوم أو لبيان منع الحركة في جميع الأوقات باستثناء حالات الطوارئ على الجسور أو في الأنفاق.

وبالتأكيد، فإن فصل العربات الهوائية المعلقة يعد نوعاً من نظام الفصل المكاني بالرغم من أنه يمكن تحقيق الفصل نفسه حسابياً باستخدام الفصل الزمني.

كما يذكر أن نظام البلوك مطبق في النقل الجوي، إذ يتم الفصل الرأسي بين الطائرات عبر طبقات من الممرات الجوية الرأسية، وكذلك يتم الفصل بين الطائرات طولياً بتحديد حارات طولية في الممرات الجوية وتقسيم تلك الحارات إلى أجزاء طولية بحيث لا يسمح لأكثر من طائرة واحدة بالتحليق في الجزءنفسه في الوقت نفسه. وإذا كان هناك طائرة سريعة تسير خلف طائرة أبطأ منها في الحارة الجوية نفسها، فإما أن تخفض سرعتها وإما أن تبدأ في الدوران في الجو حتى يصبح البلوك الأمامي خالياً لاستقبالها. وتحدد البلوكات عن طريق أشعة لاسلكية موجهة رأسياً من الأرض بالإضافة إلى إشراف مركز التحكم بالمجال الجوي على ذلك. وهذا الأسلوب ما هو إلا وسيلة فعّالة للحفاظ على الفواصل الزمنية المتبعة حالياً. ومن الواضح أن هناك عدداً من الصعوبات التي يجب التغلب عليها في هذا التطبيق.

وتجدر الإشارة إلى أننا سبق أن تطرقنا للعلاقات بين الفجوات بين المركبات المتتابعة والسعة المرورية للطريق.

الإشـــارات
SIGNALS

تعّد الإشارة، في الواقع، وسيلة أخرى من وسائل الاتصال، فهي طريقة لإعطاء سائقي المركبات والطيارين وملاحي السفن والقطارات معلومات فورية دقيقة في أمكنة وجودهم. وعندما تكون الحركة المرورية خفيفة والطرق واسعة وسرعات المركبات منخفضة فإن التقيد بالقوانين العامة للحركة المدعمة بالتوجيهات الشفهية أو المكتوبة (الأوامر) قد يكون كافياً. أما عندما تكون الحركة المرورية كثيفة بسرعات عالية فإن الإشارات تصبح ضرورية للحفاظ على سلامة الحركة وتحقيق أقصى سعة. ولا يوجد تطبيق مباشر لاستعمال الإشارات في عمليات خطوط الأنابيب أو السيور المتحركة أو العربات الهوائية المعلقة.

الممرات المائية Waterways. منذ زمن طويل والإشارات تستعمل في الملاحة المائية، إذ تحدّد القنوات المائية بعوامات طافية مجهزة بالإضاءة أو الأجراس أو الصفارات لاستعمالها ليلاً. كما توضع أيضاً علامات تحذيرية عند النقاط الخطرة – مثل المياه الضحلة والصخور المغمورة . . . إلخ – باستعمال عوامات طافية مشابهة أو باستخدام المنارات. وتستخدم المنارات، أيضاً، للإشارة إلى وجود الموانئ والألسن الأرضية الداخلة في البحر (الرؤوس) أو مداخل القنوات المائية. وقد تطلب تطوير عدسات قوية ومصادر ضوئية يعتمد عليها لهذه المنائر وجود مهارات هندسية عالية في تخصصات الإنارة التطبيقية والبصريات.

وفي أهوسة الممرات المائية داخل اليابسة، يكون مدير الهويس مسؤولاً عن التحكم المباشر وإدارة عمليات الهويس. ويحدد مدير الهويس الأولويات لاستخدام الهويس حسب قواعد معينة يمكن له تغييرها للحصول على استغلال أفضل لها. وعادة ما تكون أولوية استعمال الهويس للمركب الذي يصل أولاً، ولكن قد تعطى الأولوية للمراكب الحكومية قبل غيرها. وتقدم سفن الركاب على الصنادل المقطورة. وتجهز أماكن لوقوف المراكب التي تنتظر دورها إما على الشاطئ وإما بجوار الهويس.

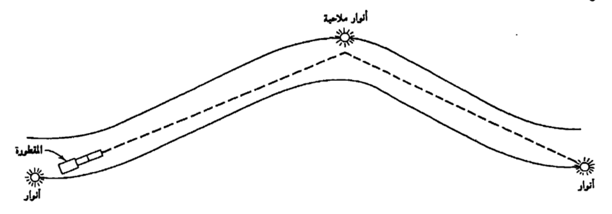
وتُستخدم الإشارة بالصفارات بوساطة كل من المراكب ومدير الهويس للتخاطب والتحكم بحركة المراكب عبر الهويس. وفي حالة الحركة الكثيفة، تستخدم الأنوار المتقطعة لمساندة الإشارة بالصفارات. وللتحكم في استخدام الأهوسة تُشغّل أنوار متقطعة (ثانية مضيئة وثانية بدون إضاءة) موضوعة عند نهايات جدران الحماية.

وتستعمل في ذلك ألوان ثلاثة متوالية للإشارة الضوئية، وهي: الأحمر والأصفر والأخضر:

* يشير اللون الأحمر إلى أن الهويس ليس جاهزاً للاستخدام ويجب على المركب الانتظار لحين فتح البوابات.
* يدل اللون الأصفر على أن الهويس في طور التجهيز لاستقبال المراكب، ويمكن للمراكب الاقتراب ببطء وحذر.
* يدل اللون الأخضر على أن الهويس جاهز لدخول المراكب، ويجب، أيضاً، تزويد جميع الأهوسة والسدود بأنوار ملاحية.

وتستعمل الإشارة المكونة من ثلاثة أنوار خضراء موضوعة فوق بعضها رأسياً للدلالة على نهاية جدار الهويس في الاتجاه الطالع (عكس التيار)، وللاتجاه النازل، توضع إشارة من نورين أخضرين رأسيين.

وتستعمل الأضواء المنبعثة في نقط ثابتة على الشاطئ في تحديد مسار السفن أو الصنادل المقطورة ليلاً. ويمكن للصنادل الاعتماد كثيراً على هذه الأنوار في بعض حالات عبور الأنهار المنحنية. انظر الشكل (٢, ١١)، حيث يوجّه القبطان مقطورة الصنادل نحو الضوء المنبعث من الشاطئ حتى يقترب منه ثم يلتقط ضوءاً آخر، وهكذا.



الشكل (١١,٢). أنوار ملاحية في نهر صالح للملاحة.

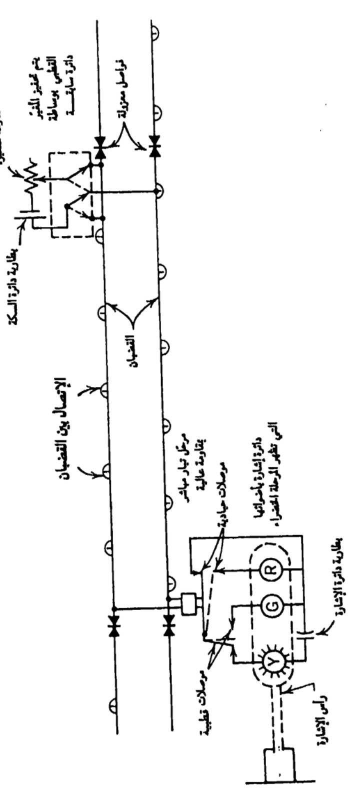
إشارات السكك الحديدية Railroad Signals. تمتاز السكك الحديدية على وسائل النقل الأخرى باستعمال أحدث نظام للإشارات وأعقده. ونظراً لضخامة طاقة الحركة المتولدة من حركة قطار شحن ثقيل وسريع يسير على سكة حديدية ثابتة، وأحياناً مع وجود قطارات تتحرك في الاتجاه المعاكس، فإن ذلك يتطلب وجود مسافة مناسبة أمام القطار خالية تماماً من القطارات والعوائق الأخرى، ووجود أجهزة تحذير مناسبة لضمان السلامة. وفي المناطق

التي تكون فيها حركة القطارات خفيفة، فإن الاعتماد على قواعد التشغيل وقوانينه وهيئة لضبط الجداول الزمنية وترتيب القطارات يعد كافياً. ولكن، عندما تكون حركة القطارات كثيفة ويجب إتاحة المجال لحركتها بسرعات عالية، فحينئذ، يجب استخدام نظام البلوك وإشارات البلوك الآلية.

وتعطى دلالات إشارات البلوك إما بوساطة طريقة وضع ذراع أو ريشة «السيمافور» أو المُلوِّحة (أي أفقياً أو مائلاً بدرجة ٤٥ أو قائماً)، وإما حسب لون الإشارة الضوئية أو نمط من الأنوار المختلفة أو بهما معاً. وأبسط تسلسل للإشارة التي يمكن أن تعطى خلف قسم البلوك المشغول (وأمامه، أيضاً، في السكك المفردة) هو كل من إشارة «قف» (أو بالأحرى، قف ثم تقدم بحذر بسرعة ١٥ ميلاً/ ساعة (٢٤ كم/ ساعة) منتبها لإمكانية وجود قطار آخر أو قضيب مكسور أو أي عائق آخر)، وإشارة «اقترب» (التي تتطلب تخفيض السرعة إما حتى ٣٠ ميلاً / ساعة (٤٨ كم/ ساعة) وإما إلى نصف السرعة القصوى المصرح بها، أيهما أقل)، وإشارة «تقدم» بالسير بالسرعة القصوى المصرح بها. انظر الشكل (٣,٨ ج). وهذه الإشارات تعطى بوساطة أي من إشارة ضوئية واحدة أو ذراع سيمافور واحد أو نمط واحد للأنوار. وفي الأنظمة المتطورة التي تعطي معلومات عن وضع قسم البلوك الثاني أو الثالث إلى الأمام أو لتحديد السرعات الآمنة عند الخروج من الخط الرئيس عبر التفريعات والتحويلات تستخدم وحدتان أو ثلاث من الأذرعة أو الإشارات الضوئية أو أنماط الأنوار في الوقت نفسه لإعطاء تنوع أكبر في مظهر الإشارة أو شكلها ودلالاتها (معنى الرسالة التي تتضمنها الإشارة).

الدوائر الكهربائية للسكة. تعد الدائرة الكهربائية المغلقة في السكة عنصراً أساسياً للتحكم في أي نظام آلي لإشارات السكك الحديدية أو للمفاتيح والارتباط بين السكك أو للتحكم بأجهزة الحماية في التقاطعات السطحية بين السكك الحديدية والطرق. انظر الشكل (٣,١١). وتستخدم الدوائر الكهربائية المغلقة بحيث تنفتح وتعطي إشارات المنع عند حدوث أي فشل فيها، وهذه القدرة على الفشل الآمن أو إضاءة اللون الأحمر عند الفشل هي خاصية أساسية من خواص أنظمة الإشارات في السكك الحديدية. وفي الواقع، فهي خاصية أساسية، أيضاً، في معظم تصاميم المعدات الآلية بما في ذلك التحكم الآلي في خطوط الأنابيب.

وتكون الدارات الكهربائية المغلقة البسيطة للسكة في قسم البلوك الواحد معزولة عن أقسام البلوك الأخرى المجاورة، ويجري فيها التيار الكهربائي عبر قضبان السكة من بطارية للتيار المباشر أو من محول للتيار المتردد إلى مُرحّلة عالية المقاومة. وعند تغير وضع المُرحلة إلى أعلى أو لأسفل فإنها تفتح أو تغلق الدوائر الكهربائية التي تشغل ريش السيمافورات أو الإشارات الضوئية أو أنماط الأنوار. وعندما يكون القطار في قسم بلوك واحد فإن المُرحلة تتحول لأن عجلات القطار ومحاور تكون طريقاً كهربائياً أقل مقاومة للتيار من المقاومة عبر الـمُرحلة، وتنفصل حافظة المغناطيس التي تعمل على تلامس جهاز التحكم بالإشارة مما يؤدي إلى تغيرها إلى إشارة قف. وعندما يكون قسم البلوك خالياً تعود الطاقة لـلمُرحلة وترتفع حافظة المغناطيس لإغلاق الدارة الكهربائية إلى الضوء الأخضر أو الأصفر.



الشكل (١١,٣). دائرة سكة مغلقة بثلاث مراحل.

وتستخدم عدة أنظمة لإعطاء الإشارة الصفراء المتوسطة أو إشارة «اقترب»، ويستخدم أحد هذه الأنظمة مُرحلة قطبية تقوم بالتوصيل إما إلى اليمين أو إلى اليسار مع وجود حافظة مغناطيسية إضافية حسب قطبية الدارة. وتتحقق القطبية عن طريق جهاز لتغيير الأقطاب التي تستجيب للتغير في قطبية الدارة الكهربائية التي أمامها. فعندما يكون قسم البلوك التالي مشغولاً، تفقد المُرحلة طاقتها ويظهر ضوء الإشارة الأحمر (الشكل ٣, ١١). وعندما يكون قسم البلوك الثاني إلى الأمام خالياً ودائرته الكهربائية مزودة بالطاقة، فإن القطبية المقابلة تعمل على توصيل الحافظة المغناطيسية عبر دارة الضوء الأصفر للإشارة. وعندما يكون قسم البلوك التالي إلى الأمام خالياً، فإن القطبية تتغير ثانية ويتم توصيل الدارة القطبية عبر الضوء الأخضر.

وهناك نوع آخر للدارة المغلقة للسكة وهو الدارة المشفرة للسكة التي تستعمل شفرات بترددات مختلفة لتشغيل المُرحلة التي تعمل بالشفرات، وبالتالي، للتحكم في دوائر الإشارة. انظر الشكل (٤, ١١). ويُشغل جهاز التشفير الذي يرسل الشفرات بترددات مختلفة عن طريق التغذية الراجعة من الدارة التي في قسم البلوك التالي، أي الدارة المشغولة أو التي شغلت بوساطة دارة مشغولة. وتمتاز الدوائر المشفرة بزيادة حساسيتها وقلة تكاليفها وقلة تأثرها بالتيارات الكهربائية الأخرى وزيادة مرونتها، وبالإضافة لذلك، فإن الدوائر المشفرة تجعل من الممكن استخدام الأنواع المعتادة لدلالات الإشارات التي تظهر في مقصورة الإشارات في القاطرة. كما تعمل أجهزة إيقاف القطارات التي تقوم ذاتياً بعملية الكبح في حال فشل السائق للاستجابة لإشارة «قف» بوساطة الدوائر المشفرة. وتلتقط الشفرة حثياً بوساطة ملفات حساسة مثبتة على عمود فوق القضبان مباشرة أو مثبتة عرضياً تحت مكان السائق في القاطرة، مما يعمل على تشغيل كل من إشارات المقصورة والتحكم الآلي بالقطار.

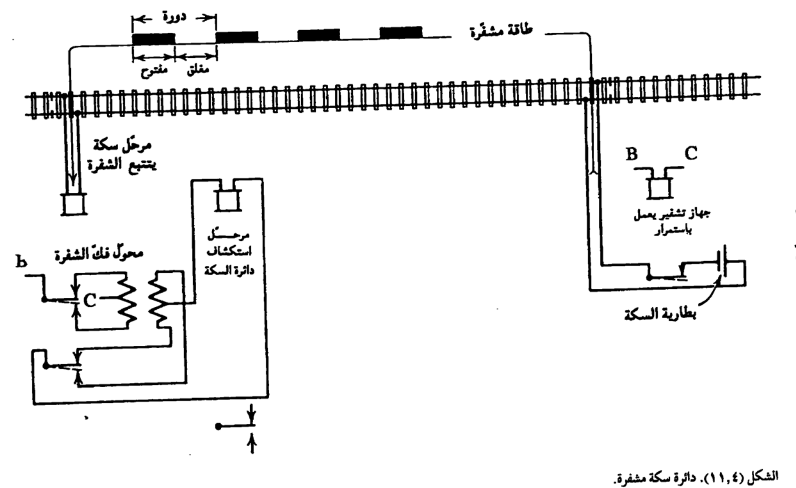
أدوات التحكم المروري
TRAFFIC CONTROL DEVICES

تضع الهيئات المسؤولة أدوات التحكم المروري بجانب الشوارع والطرق أو فوقها بهدف زيادة السلامة واستغلال سعة الطرق والشوارع عن طريق تزويد سائقي المركبات والمشاة بالإرشادات والتحذيرات والأوامر. وتشمل هذه الأدوات كلاً من العلامات والإرشادات والخطوط الأرضية المستخدمة لتحديد الحارات ولتنظيم حركة المرور. ويحتوي دليل أدوات التحكم المروري الذي أصدرته وزارة المواصلات في المملكة العربية السعودية على توصيات لتصميم تلك الوسائل وتركيبها وإستعمالها، والذي اقتبسنا منه معظم المعلومات التالية. وقد تبنت وزارة المواصلات هذا الدليل ليكون أساساً للمواصفات الوطنية التي يجب تطبيقها على جميع أنواع الطرق العامة.[1]

ويجب أن تتوافر الشروط التالية بأدوات التحكم المروري لتكون فعالة: (١) أن تسد حاجة معينة و (٢) أن تجذب الانتباه و (٣) أن تعطي معنى واضحاً محدداً و (٤) أن تحظى بالاحترام و (٥) أن تعطي للسائق وقتاً كافياً للاستجابة المناسبة.

---

(١) دليل أدوات التحكم المروري، وزارة المواصلات، المملكة العربية السعودية، ١٩٩٠م.



الشكل (١١,٤). دائرة سكة مشفرة.

("Union" Coded Track Circuit Control, Bulletin 157, July 1943, Union Switch and Signal Division, Pennsylvania, p. 10, Fig. 4.)

العلامات المرورية Signs. توفر العلامات المرورية للسائق كلاً من المعلومات التنظيمية والتحذير بأن الحركة في اتجاه واحد والتحذير من الأحوال الخطرة والإرشاد والتوجيه. وبالتحديد، فإن العلامات المرورية التنظيمية تشمل علامتي «قف» و «افسح الطريق» (أو طريق أفضلية)، والعلامات التي تحدد السرعة القصوى وعلامات تسلسل الحركة من حيث الالتفاف والمحاذاة والمنع والحركة في اتجاه واحد. وتشمل الخصائص التصميمية للعلامات المرورية كلاً من الشكل واللون والرمز والعبارات المكتوبة (أو مفتاح العلامة المرورية). وتحظى العوامل الثلاث الأولى بالأهمية القصوى في مساعدة السائق على الفهم السريع والفوري للرسالة المتضمنة في العلامة المرورية.

الأشكال. تستخدم أشكال هندسية مختلفة للعلامات لإعطاء دلالات خاصة بكل شكل، كالتالي :

(أ) يخصص الشكل ثماني الأضلاع لعلامة «قف».

(ب) يخصص المثلث متساوي الأضلاع ذو الرأس المتجه إلى أسفل لعلامة «افسح الطريق»، أما المثلث متساوي الأضلاع ذو الرأس المتجه إلى أعلى فيستخدم من أجل العلامات التحذيرية (التحذير من أخطار فعلية أو محتملة).

(جـ) يستخدم الشكل المعين لعلامة «طريق الأولوية» وعلامة «نهاية طريق الأولوية».

(د) يخصص الشكل المستدير للعلامات التنظيمية.

(هـ) يستخدم الشكل المستطيل، وعامة يكون الضلع الأطول في الاتجاه الأفقي، من أجل العلامات الإرشادية، وأساساً لعلامات «الإتجاه» المتقدمة، وعلامات الاتجاه والتأكيد. ويستخدم المربع وكذلك الشكل المستطيل ذو الضلع الأطول في الاتجاه الرأسي أو الأفقي، من أجل علامات «المعلومات الدالة» وعلامات «المرافق» وعلامات «وقوف الانتظار».

الألوان. تكون الألوان المستخدمة في أرضيات العلامات القياسية كما يلي :

(أ) اللون الأحمر حيث يستخدم لأرضية العلامة «قف»، ويستخدم اللون الأحمر في التعبير عن بعض العلامات «التحذيرية» وبعض العلامات التنظيمية وكذلك بعض العلامات الإرشادية.

(ب) اللون الأبيض حيث يستخدم لأرضية العلامات التنظيمية والتحذيرية وبعض العلامات الإرشادية، ويستخدم اللون الأبيض في كتابة الرسائل على العلامات ذات اللون الأحمر والأزرق والبني.

(جـ) اللون الأزرق حيث يستخدم لأرضية بعض علامات «الوقوف والإنتظار» والعلامات «الإجبارية» وبعض العلامات الإرشادية.

(د) اللون الأسود حيث يستخدم لعمل أرضية بعض العلامات الإرشادية كما يستخدم في كتابة الرسائل على العلامات ذات اللون الأبيض.

(هـ) اللون البني يستخدم لعمل أرضية العلامات الدالة على مناطق «الاستجمام» و«الترفيه».

(و) اللون الرمادي حيث يستخدم في كتابة الرسائل على العلامات الدالة على «نهاية جميع المحظورات الخاصة المفروضة على المركبات».

(ز) اللون الأصفر حيث يستخدم لعمل أرضية لوحة «خروج فقط» وعلامات «طرق الأولوية»، وأرضية الإشارات التحذيرية للتحويلات.

الرموز. تستعمل رموز مختلفة داخل العلامات للدلالة على الرسالة التي تُوَصّل إلى مستخدمي الطريق، فمثلاً يستخدم رمز مكون من سهم يشير للإلتفاف في إتجاه معين ومرسوم فوقه خط وتري يميل بزاوية ٤٥ درجة للدلالة على منع هذا النوع من الالتفاف، ولكّن الدليل يقترح استخدام مفاتيح تحتوي على عبارات مكتوبة لتفسير الرمز لفترة كافية ليتعود عليها العامة ثم يمكن إزالتها.

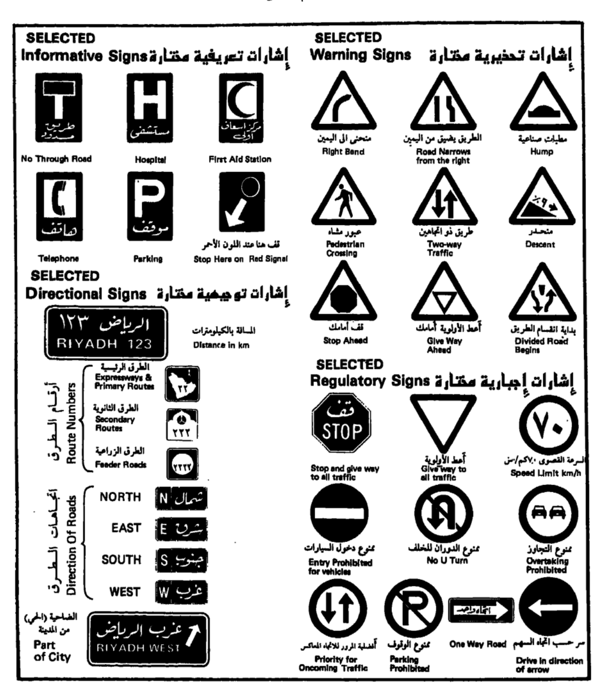
مفتاح العلامة المرورية. مفتاح العلامة المرورية ما هو إلا عبارة مكتوبة على العلامة مثل كلمة «قف» أو «اتجاه واحد» أو رقم معين للسرعة المحددة، ويجب أن تكون العبارة واضحة الدلالة ولا تقبل التأويل أو سوء الفهم، كما يجب أن تكون العلامة عاكسة لرؤيتها في الليل أو مضاءة بأنوار خاصة إذا كانت إنارة الطرق غير كافية. ويبين الشكل (٥ ,١١) أمثلة لأشكال العلامات المرورية المستعملة ورموزها ومفاتيحها.

مواقع العلامات المرورية. توضع العلامات التنظيمية عادة في الأماكن التي تتطلب من السائق ضرورة الاستجابة لها والالتزام بمدلولاتها. وللعلامات التي تحذر من وجود أحوال خطرة فعلية أو محتملة أهمية خاصة نظراً لتأثيرها على السلامة. وتوضع هذه العلامات قبل الوصول إلى منطقة الخطر بمسافة كافية تتيح للسائقين والمشاة القيام بالتصرفات المناسبة عند السرعات والظروف السائدة. وتتراوح هذه المسافات بين ٢٥٠ قدماً (٧٦ متراً) للسرعات البطيئة داخل المدن و ٧٥٠ قدماً (٢٢٩ متراً) للطرق الخلوية خارج المدن و ١٥٠٠ قدم (٤٥٧ متراً) للطرق السريعة.

وتوضع العلامات إما على جانبي الطريق أو معلقة فوقه كما هو موضح في الجدول (١ ,١١)، بحيث تكون مواجهة لحركة المرور بزاويا قائمة تقريباً. وفي حالة الميول والمنحنيات أو حدوث انعكاسات للشمس على اللوحة، فإن ذلك قد يتطلب إمالة العلامة أو إدارتها قليلاً لتسهيل قراءتها.

ويمكن استخدام فواصل عاكسة للضوء لتحديد الأطراف الخارجية للطرق الأحادية أو الثنائية الاتجاه على طول الطريق كله أو في الأجزاء الخطرة.

الخطوط الأرضية Markings. تستخدم الخطوط الأرضية الطولية والعرضية لتحديد حارات الطريق وأنواع الحركات المسموح بها، وتوضع هذه الخطوط على رصفيات الطرق للمساعدة على تدفق المرور دون صرف نظر السائق عن رصفية الطريق. وتعد الخطوط الأرضية وسيلة رخيصة ومفيدة لتنظيم الحركة بالرغم من سلبياتها المتمثلة في عدم بقاء دهانها لفترة طويلة وإمكانية اختفاء معالمها في حالة الأمطار والثلوج وعدم القدرة على رؤيتها عندما تكون مبللة.



الشكل (١١,٥). علامات نموذجية للتحكم بالمرور.

(المصدر: دليل أدوات التحكم النظامية في المرور. وزارة المواصلات، الرياض، المملكة العربية السعودية)

الجدول (١١,١): مواقع العلامات المرورية[أ].

أنواع الطريق وتصنيفها	الموقع	الارتفاع	البعد العرضي
جميع الطرق على العموم	على الطرف الأيمن للطريق		عمود العلامة الجانبية أو دعامة العلامة العلوية: على مسافة مترين من طرف كتف الطريق كحد أدنى، و ٤ أمتار من طرف الطريق الذي لا يحتوي على كتف.
طرق زراعية أو ريفية		١,٥م في الأقل من أسفل العلامة إلى الطرف القريب من رصف الطريق	
طرق حضرية (وسط المدينة، مناطق تجارية أو سكنية)		متران إلى أسفل العلامة (ويخصم ٠,٥م للعلامات الثانوية الموضوعة تحت العلامة الرئيسة)	٠,٥م من طرف الرصيف الجانبي للمشاة.
طرق سريعة حرة		متران للعلامة الرئيسة ١,٥م للعلامة المساعدة تحت العلامة الرئيسية ١,٥م للعلامات الموضوعة على بعد ٩ أمتار من طرف أقرب حارة مرورية	للعلامات الإرشادية الكبيرة: ٩أمتار، في الأقل، من أقرب حارة مرورية
طرق سريعة حرة	علامات علوية	٥,٥م على العرض الكلي للطريق، ولكن ٠,٥ فوق	٤,٥م في الأقل للطرق الموصلة على التقاطعات العلوية مسافة الخلوص الأدنى التي تحدد عادة بالجسر أو سواه

(أ) المصدر: دليل التعليمات الخاصة بوضع العلامات، وزارة المواصلات السعودية، إدارة هندسة المرور والسلامة، الرياض ١٤٠٤هـ.

وتشمل استخدامات الخطوط الأرضية كلاً من تحديد حارات المرور وحارات الالتفاف أو جيوب الالتفاف والخط الفاصل بين الاتجاهين المتعاكسين بوسط الطريق وخطوط الدلالة على منع تجاوز المركبات ومعابر المشاة وطرق الاقتراب من التقاطعات السطحية مع السكك الحديدية وأماكن السماح بالوقوف أو منعه. وأحياناً تستخدم عبارات مكتوبة أو رموز أرضية مساندة للخطوط الأرضية. انظر الشكل (١١,٦).

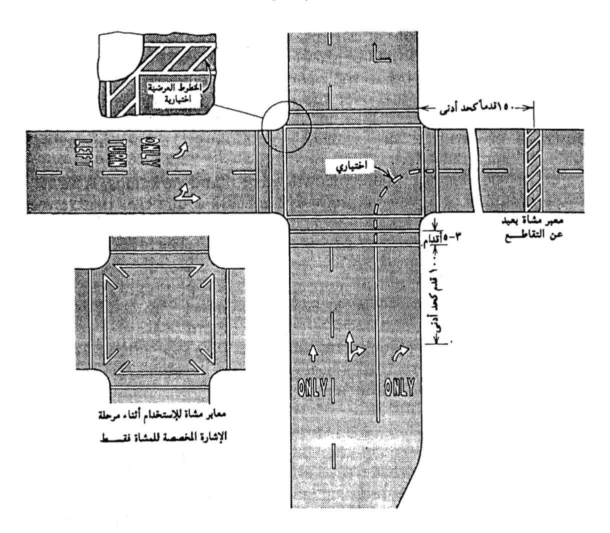
ويحتوي دليل أدوات التحكم المروري على مواصفات لاستخدام الألوان المختلفة في الخطوط الأرضية كالتالي:

الأبيض: يفصل بين الحارات المرورية للحركة في الاتجاه نفسه، كما يستخدم للفصل بين الاتجاهات المختلفة للحركة.

الأصفر: يحدد الأطراف الخارجية للطريق.

الأحمر: يشير إلى منع استخدام الطريق لمن يرى اللون الأحمر.

الأسود: يستخدم لمساندة الألوان الأخرى عند الحاجة.



الشكل (١١,٦). الخطوط الأرضية النموذجية للحارات المرورية ومعابر المشاة.

(From *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways,* State of Illinois, Springfield, Illinois 1976.)

ويدل عرض خط الدهان على درجة الأهمية، فالعرض العادي يتراوح بين من ٤-٦ بوصات (١٠ إلى ١٥ سم)، ويستعمل عرض ٨ إلى ١٢ بوصة (٢٠ إلى ٣٠ سم) للتقاطعات المحظورة. وتستعمل الخطوط المزدوجة (كل منها بعرض عادي) لأقصى حالات المنع، في حين تشير الخطوط المتصلة للمنع والخطوط المتقطعة تعني السماح. وفي الخطوط المتقطعة عادة ما تكون النسبة بين جزء الخط والفجوة بين جزئين من الخط المتقطع هي ٣ : ٥، ومن أجل تحسين رؤية الخطوط في الليل، يمكن وضع أزرار عاكسة على الخطوط عندما تكون الإضاءة المتوافرة غير مناسبة، وسوف نناقش في الفصل الأخير الأنواع الأخرى من وسائل تنظيم الحركة عند تقاطعات الشوارع والطرق.

الإشارات المرورية Traffic Signals. تعد الإشارات المرورية الضوئية التي توضع في الشوارع والطرق أكثر أنظمة الإشارات شيوعاً واستخداماً. فهي تؤمن المرور الآمن للسيارات والمشاة عند التقاطعات ولكنها تستخدم، أيضاً، للتحكم بالسرعة وحركات الالتفاف ولفتح مداخل الطرق السريعة أو غلقها.

كما توجد استخدامات للإشارات المرورية لتحويل اتجاه الحركة في بعض حارات الطرق السريعة من الاتجاه الداخل إلى وسط المدينة في الذروة الصباحية إلى الاتجاه الخارج منها في الذروة المسائية. وقد ناقشنا التأثير الأساسي للإشارات على سعة التقاطعات المزودة بها في الفصل الثامن.

وتعرف «سمة» الإشارة بأنها مظهرها البارز للمستخدم، أي الضوء الأحمر أو الأصفر أو الأخضر أو السهم أو خلافه، في حين يقصد «بالدلالة» معنى سمة الإشارة: فـ«تقدم» للسمة الخضراء، و«احذر واستعد للوقوف» للسمة الصفراء، و«قف» للسمة الحمراء. وتعرض هذه السمات على رأس الإشارة والتي يمكن أن يضاف إليها أسهم خضراء لتحديد الالتفافات أو «التقدم» لبعض الحارات المحددة، أو يضاف إليها سمة «اعبر» في التقاطعات المزدحمة للمساعدة على عبور المشاة بسلام. ويمكن تطوير أنواع مختلفة لما سبق في التقاطعات المعقدة المكونة من خمسة أو ستة شوارع متقاطعة. وعادة ما يثبت رأس الإشارة على عمود على يمين الحارة المرورية المعينة، ولكن يمكن، أيضاً، تثبيتها على دعامة ناتئة مثبتة من طرف واحد (كابولي) تمتد فوق الحارة المرورية، أو تعلق فوق الحارة بوساطة أسلاك أو جسر إشارة. والمهم هنا هو وضوح الإشارة وقدرة السائقين على رؤيتها من دون حدوث التباس لديهم من حيث ماهية الحارات المرورية والحركات المقصودة بالإشارة.

ويطلق على التسلسل الكامل من الأخضر إلى الأصفر ثم الأحمر (وما شابهه) لفظ طول الدورة الزمنية للإشارة. وتتراوح فترة مرحلة الأخضر أو التقدم بين ١٥ و ٣٠ ثانية أو أكثر حسب حجم التدفق المروري وسرعته وحسب درجة أهمية كل شارع في التقاطع. والفترة التالية هي السمة الصفراء التي تتراوح بين ٤ و ٨ ثوان والتي يقصد منها تنبيه السائق إلى أن الإشارة على وشك التغير إلى السمة الحمراء أو الوقوف. وخلال عرض السّمتين الخضراء والصفراء لاتجاه معين فإن رؤوس الإشارة في الإتجاهات الأخرى تعرض السمة الحمراء لها. وفي بعض الأحيان، يُزاد طول الدورة الزمنية للإشارة عن طريق زيادة مرحلة للالتفاف إلى اليسار (أو اليمين) ومرحلة «اعبر» للمشاة والتي عندها يجب على جميع المركبات الوقوف (ولكن أحياناً يتم تنبيههم باتخاذ الحذر). ولا يجب، بالضرورة، أن تكون فترات مرحلة الأخضر متساوية لجميع الاتجاهات، إذ يعطى أحياناً زمن أطول للشارع الأهم الذي يكون عادة أكثر حجماً للحركة المرورية.

وفي التقاطعات المنعزلة (أي التي تبعد بمسافة كبيرة عن التقاطعات الأخرى) يمكن ضبط الإشارة لتعمل كإشارة بتوقيت ثابت بحيث تتكرر الدورة الزمنية للإشارة ومراحلها المختلفة طوال اليوم ما لم يُعد ضبطها وتغييرها. ويمكن أن يحتوي جهاز التحكم بالإشارة على عدة أقراص تضبط بحيث تعطي دورات زمنية ومراحل مختلفة التوقيت للإشارة لكل من فترة الذروة الصباحية وفترة الذروة المسائية، وأخرى لبقية اليوم (أي فترة عدم الذروة). ويمكن ضبط الأقراص إما يدوياً أو عن طريق جهاز تحكم رئيس بعيد عن التقاطع.

الدورة الزمنية للإشارة المرورية. لتحريك المرور بأمان وبأقل قدر من التأخير لجميع المركبات، يجب أن يكون طول فترة المرحلة الخضراء من الإشارة المرورية لكل شارع من الشوارع المتقاطعة كافياً لعبور جميع المركبات التي تجمعت خلال المرحلة الحمراء السابقة والمركبات التي تصل خلال المرحلة الخضراء نفسها للإشارة، وذلك في فترة الذروة. ويجب أن يتناسب توزيع فترة الأخضر بين مداخل التقاطع بناء على حجم الطلب المروري لكل منها. كما يجب أن يشمل طول المرحلة الخضراء المعطى فعلياً الزمن الذي تستغرقه المركبات المنتظرة عند الإشارة للبدء في التحرك، وهذا الزمن يسمى بزمن تأخير البدء ويتراوح بين ١,٥ و ٣,٨ ثانية. ويؤخذ عادة كـ ٢,٥ ثانية، بالإضافة إلى الزمن الذي تستغرقه المركبات المتجمعة والتي تصل لاحقاً خلال المرحلة الخضراء للدخول في التقاطع. وهذا الأخير يعتمد على سعة التقاطع ومعدل التدفق أثناء دخول المركبات للتقاطع بمعدل ٢ إلى ٢,٥ ثانية لكل مركبة لكل حارة والذي يؤخذ عادة كـ ٢,١ ثانية/ مركبة/ حارة. ويقلل استخدام الدورات الزمنية القصيرة من التأخير للمركبات المنتظرة ولكن بسبب زمن تأخير البدء، فإن الدورات الزمنية القصيرة يمكن أن تتكبّد وقتاً ضائعاً أكبر وتستوعب عدداً أقل من المركبات في الساعة.

وتشمل العوامل الأخرى التي تؤثر على طول فترة الأخضر كلاً من حركات الالتفاف إلى اليسار وإضافة فترة للالتفاف وفترة «اعبر» للمشاة. ويمكن أن يحسب طول فترة الالتفاف على أساس نسبة عدد حركات الالتفاف إلى حركة المرور الكلية مع اعتبار زمن تأخير البدء ومعدلات الدخول التي ذكرناها قبل قليل. ويمكن أن تكون فترة عبور المشاة هي العامل الذي يحدد طول فترة الأخضر. ويجب أن يحسب الزمن الأدنى لعبور المشاة على أساس الوقت اللازم لعبور الشارع الذي يضاف إليه ٥ ثوان كزمن تأخير للبدء. وإذا افترضنا أن متوسط سرعة المشي هي أقل بمقدار بسيط من ٣ أميال/ ساعة فستصبح مساويةً للمعدل الشائع الاستعمال وهو ٤ أقدام/ ثانية، وعليه، فإن الزمن الأدنى لعبور المشاة من فترة الأخضر هي ٥ ثوان بالإضافة إلى ربع عرض الشارع المقاس بالقدم. ويمكن تقليل هذه المدة بخصم زمن فترة الأصفر (وفي حالة وجود جزيرة وسطية في الشارع يمكن، أيضاً، تحديد زمن العبور على أساس المسافة من الرصيف إلى الجزيرة الوسطية بدلاً من العرض الكلي للشارع، وبذا يلزم للمشاة عبور الشارع خلال دورتين زمنيتين للإشارة).

وتتيح المرحلة الصفراء للمركبات التي في منطقة التقاطع فرصة إخلاء التقاطع قبل انطلاق المركبات في الاتجاه الآخر، كما تقوم بتنبيه المركبات التي تقترب من التقاطع بأن الإشارة على وشك التغير إلى الأحمر وبالتالي، عليها أن تقف. وتشتمل المسافة اللازمة للوقوف على المسافة التي تقطعها المركبة خلال مجموع زمن الإدراك للسائق (٠,٥ إلى ١,٥ ثانية) وزمن التباطؤ الذي يساوي ($v/2a$) حيث إن (a) هي معدل التباطؤ والتي تؤخذ عادة كـ ١٥ قدما لكل ثانية مربعة. وعملياً، فإن فترة الأصفر تؤخذ عادة كـ ٣ إلى ٥ ثوان (باستثناء الحالات الخاصة مثل وجود تقاطع بثلاثة مداخل أو أن الشارع أعرض من المعتاد).

ويمكن للقارئ أن يرجع للجزء الخاص بسعة التقاطعات في الفصل الثامن لمراجعة أسلوب حساب سعات الشوارع المتقاطعة. ويمكن استخدام عامل تحميل مرتفع بقيمة ٠,٨ إلى ٠,٩ لتمثيل الطلب المروري في ساعة الذروة. وتستخدم المسوحات المرورية لمعرفة أحجام الحركة المرورية في مداخل التقاطع، وعادة ما يتم تسجيل حركة الذروة لكل ١٥ دقيقة، وفي المسألة التوضيحية المبسطة التالية، سيتم إيضاح كيفية تطبيق ما سبق.

مثال توضيحي

يتقاطع شارعان بزاوية قائمة والحركة في كل منهما في الاتجاهين وعرض كل شارع ٥٠ قدماً، كما أن الوقوف ممنوع عند مداخل التقاطع. فإذا رمزنا لأحد الشارعين بالرمز (أ) وللآخر بالرمز (ب)، وافترضنا أن زمن فترة الأصفر لكل منهما هو ٤ ثوان (للحصول على دقة أكبر، يمكن حساب طول فترة الأصفر على أساس أنها مجموع زمن التباطؤ وزمن إخلاء التقاطع كما شرحنا قبل قليل).

وفي هذا المثال، يكون حساب الزمن اللازم لحركة المشاة كالتالي:

الزمن الأدنى لبدء العبور = ٥ ثوان

زمن عبور الشارع =٤٠ ÷ ٤ = ١٠ ثوان

مجموع زمن عبور المشاة = ١٥ ثانية

طول فترة الأصفر المستخدمة لعبور المشاة = ٤ ثوان

الزمن الأدنى لفترة الأخضر للمشاة = ١١ ثانية

وباستخدام القيم التقريبية من الشكل (٨-٨) بعامل تحميل تقريبي يساوي ٠,٣، فإننا نجد أن حجم الحركة المرورية لكل من الشارعين المتقاطعين هو ٢٦٥٠ مركبة لكل ساعة كاملة من الفترة الخضراء للإشارة. وقد وجد من بيانات المسوحات الميدانية أن متوسط الحجم المروري في ساعة الذروة خلال يوم عمل نمطي هو ٦٠٠ مركبة في الساعة للشارع (أ) و ٤٠٠ مركبة في الساعة للشارع (ب)، وبذا تكون نسبة الحجم المروري إلى السعة (*v/c*) هي:

(*v/c*) للشارع (أ) = ٦٠٠ ÷ ٢٦٥٠ = ٠,٢٢

(*v/c*) للشارع (ب) = ٤٠٠ ÷ ٢٦٥٠ = ٠,١٥

وبافتراض أن الإشارة المرورية الضوئية تعمل على أساس مرحلتين فقط إحداهما للشارع (أ) بحيث تظهر سمات الإشارة نفسها للاتجاهين المتعاكسين فيه والأخرى للشارع (ب) بالطريقة نفسها، وبالتالي، فإن المرحلة الخضراء المعطاة للشارع (ب) ستكون أقل زمناً من تلك الخاصة بالشارع (أ) بناء على قيم النسبة (*v/c*). وعادة ما يكون طول المرحلة الخضراء للشارع (ب) مساوياً للزمن الأدنى لفترة الأخضر المحسوب للمشاة ويساوي ١١ ثانية، ولكن العرف جرى أن لا يقل زمن الفترة الخضراء على ١٥ ثانية كحد أدنى. ومن أجل المحافظة على النسب نفسها بين السعة إلى الطلب، فإننا نقسم النسبة الأكبر لـ (*v/c*) على النسب الأصغر لها، أي:

(نسبة (*v/c*) للشارع «أ») ÷ (نسبة (*v/c*) للشارع «ب») = ٠,٢٢ ÷ ٠,١٥ = ١,٥

وبذلك يكون زمن فترة الأخضر للشارع (أ) يساوي ١,٥ ضعف الزمن للشارع (ب)، أي ١,٥ × ١٥ = ٢٢ ثانية. وهكذا تصبح الدورة الزمنية الكامة للإشارة كالتالي:

دورة المدخل (أ)	دورة المدخل (ب)
الأخضر = ٢٢ ثانية	الأخضر = ١٥ ثانية
الأصفر = ٤ ثوان	الأصفر = ٤ ثوان
الأحمر = ١٩ ثانيّة	الأحمر = ٢٦ ثانيّة
الدورة = ٤٥ ثانية	الدورة = ٤٥ ثانية

والمتبع، عادة، ضبط طول دورة الإشارة على أساس فترات تتزايد بـ٥ ثوان، فيمكن عند الحاجة تقريب طول دورة الإشارة تبعاً لذلك.

وهناك طرق أكثر تفصيلاً لتصميم الإشارات المرورية تأخذ في الاعتبار قدرة الدورة الزمنية التي تم الوصول إليها على تصريف حجم الطلب المروري. إذ يفترض أحياناً أن القيمة الاحتمالية لوصول مجموعة من المركبات مع بعضها إلى الإشارة تعتمد على حجم الطلب المروري. ويمكن للقارىء الرجوع إلى أبحاث هندسة المرور خصوصاً «دليل هندسة النقل والمرور» الذي يصدره معهد مهندسي النقل الأمريكي، وذلك لمعرفة كيفية تحديد قدرة التقاطع على استيعاب الحركة وكيفية تحديد الطول الأمثل للدورة الزمنية للإشارة.

ويمكن القيام بعملية تدقيق سريعة للتأكد من قدرة التقاطع على استيعاب الحركة، وذلك بناء على فرض أن المركبات تصل إلى التقاطع بمعدل منتظم. ففي الساعة الواحدة (٣٦٠٠ ثانية) يوجد ٨٠ دورة للإشارة. وطول فترة الأخضر للشارع أو المدخل (أ) هو ٢٢ ثانية، وباعتبار أن زمن تأخير البدء هو ٥, ٢ ثانية وأن التقاطر الزمني لدخول المركبات للتقاطع هو ١, ٢ ثانية، فإنه يمكن حساب العدد الأقصى للمركبات التي يمكن أن تدخل التقاطع خلال فترة خضراء ولاتجاه واحد من الشارع (أ) كالتالي [٥, ٢ + (ن - ١) × ١, ٢ = ٢٢] وبالتالي، فإن ن = ٣, ١٠ (يمكن اعتبارها ١٠) حيث إن ن = عدد المركبات الداخلة للتقاطع خلال فترة خضراء واحدة لكل حارة مرورية لكل اتجاه. فإذا كان الشارع (أ) مكوناً من حارتين في كل اتجاه فإن عدد المركبات الداخلة للتقاطع من كلا الإتجاهين هو ٤٠ مركبة خلال فترة خضراء واحدة. وبالتالي، فإن عدد المركبات الداخلة للتقاطع من كلا اتجاهي الشارع (أ) خلال ساعة كاملة = ٤٠ مركبة × ٨٠ فترة خضراء = ٣٢٠٠ مركبة في الساعة. وبما أن هذا العدد أقل من الطلب الفعلي على الشارع (أ)، فيمكن، إذن، لدورة الإشارة هذه استيعاب عدد المركبات في الساعة التي تسير على الشارع (أ). ويمكن تدقيق الوضع للشارع (ب) بالطريقة نفسها.

الإشارات المستجيبة للطلب. تستعمل الإشارات المرورية التي تعرف باسم «الإشارات نصف المستجيبة للطلب» أحياناً عند تقاطع شارع رئيس مع آخر فرعي بحيث يكون حجم الحركة المرورية في الشارع الفرعي أقل بكثير منه في الشارع الرئيس الذي يتقاطع معه. وفي هذا النوع من الإشارات تعطى المرحلة الخضراء للشارع الرئيس باستمرار حتى تقترب مركبة من التقاطع عن طريق الشارع الفرعي والتي يتم الإحساس بوجودها بوساطة جهاز استشعار، ثم تتغير الإشارة لتعطي الضوء الأخضر للشارع الجانبي، وذلك بعد فترة تأخير محددة مسبقاً. وبعد عبور المركبة التي في الشارع الفرعي للتقاطع تتغير الإشارة مرة أخرى لتعطي الضوء الأخضر للشارع الرئيس. وإذا ظهرت مركبات أخرى على الشارع الفرعي بعد وصول المركبة الأولى يتم تمديد زمن فترة الأخضر بمقدار معين لكل مركبة حتى عدد معين محدد مسبقاً يسحب بعده الضوء الأخضر من الشارع الفرعي. وهناك عدة أنواع من أجهزة الاستشعار فهي إما أن تكون ذراعاً ميكانيكياً تطأ عليه المركبات عند وصولها وإما خلية أو عيناً كهروضوئية (عادة توضع فوق طريق المركبات لتمر تحتها) أو أجهزة إلكترونية أخرى. ولا يفضل استخدام الأذرعة الميكانيكية نظراً لاحتمال تعطلها بسبب الرمال أو الأغبرة أو الثلوج، واحتمال تعرضها للصدأ من المياه المالحة التي قد توجد على الشارع.

أما «الإشارة الكاملة الاستجابة للطلب» فلها أجهزة استشعار موضوعة على كل شارع من الشوارع المتقاطعة. وعندما تكون الحركة المرورية كثيفة في التقاطع فإن هذه الإشارة تعمل مثل الإشارة ذات التوقيت الثابت.

وقد تحتوي الإشارة الكاملة الاستجابة للطلب على نظام إستشعار وتحكم يستجيب للخصائص الآنية للتدفق المروري من حيث الحجم والكثافة. إذ يتم استشعار أوقات وصول المركبات والتقاطر الزمني بينها وأوقات انتظارها وتخزين تلك البيانات في «ذاكرة» جهاز التحكم التي، من خلالها، يجري جهاز التحكم تعديلات مستمرة على توقيت الإشارة من حيث طول الدورة الزمنية وطول كل مرحلة من مراحلها، وذلك لإعطاء إستجابة قصوى للتغيرات في حركة المرور على المدى القصير.

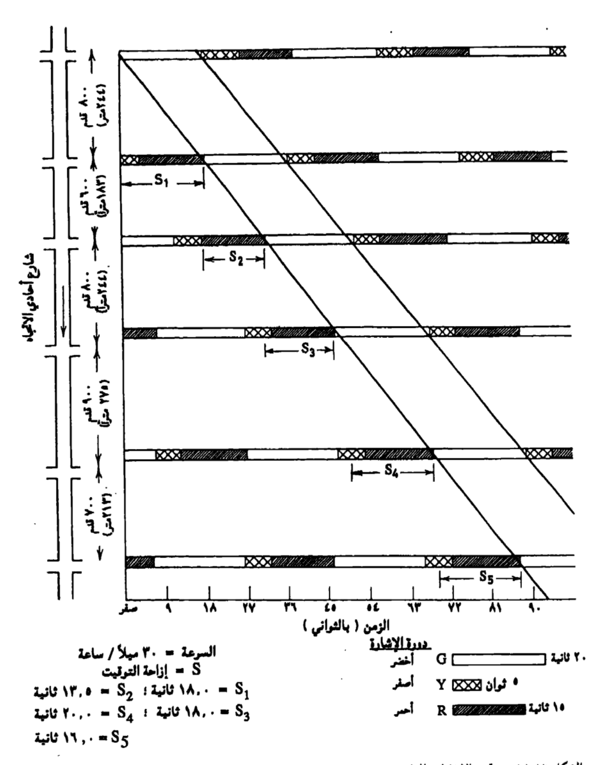
وهناك عديد من أنماط التشغيل التي تجمع بين سلسلة من الإشارات المرورية الضوئية للتقاطعات في نظام تشغيل متناسق على طول شارع معين. وأحد أقدم هذه النظم هو «النظام المتزامن» حيث تغير الإشارات جميعها على طول جزء ممتد من الشارع لتعطي السمة نفسها أو الضوء في الوقت نفسه. ويستعمل نظام الإشارات المتزامنة هذا استعمالاً مفيدا عندما تكون المسافة بين التقاطعات قصيرة وتكون الإشارات المرورية قريبة من بعضها.

أما في «النظام المتناوب» للإشارات فيظهر الضوء الأخضر لإشارة في تقاطع معين، في حين يظهر الضوء الأحمر للإشارة التي في التقاطع الذي يليه والتقاطع الذي قبله في الوقت نفسه. وهذا يعمل جيداً عندما تكون المسافات بين التقاطعات متساوية تقريباً. ويمكن تعديل أطوال الدورات الزمنية للإشارات للحصول على حركة مستمرة تقريباً للمركبات التي تسير بالسرعة المحددة.

وفي النظام المسمى بـ«نظام الإشارات المتتابعة»، يستخدم طول واحد للدورة الزمنية لسلسلة من التقاطعات على طول الشارع، ولكن طول مرحلتي الأخضر والأحمر تختلفان من إشارة لأخرى حسب حجم الحركة المرورية التي ترغب في عبور التقاطع. ومرة أخرى، فإن وجود إزاحة في بدء فترة الأخضر بين الإشارات المتتابعة يتيح للمركبات التي تسير بالسرعة المحددة إمكانية الحركة المستمرة دون الوقوف عند الإشارات نظراً لوجود الضوء الأخضر باستمرار عند وصولها، وأحياناً يطلق على هذا النظام «نظام الموجة الخضراء» أيضاً. ويحسب مقدار الإزاحة اللازمة في بدء الفترة الخضراء بين الإشارات المتتابعة على أساس الوقت اللازم لحركة المركبة من التقاطع السابق. ويوضح الشكل (٧, ١١) كيفية حساب مقدار الإزاحة.

وسائل أخرى للتحكم Other Traffic Controls. لقد سبق أن شرحنا عدداً مختلفاً من العلامات المرورية. فعلامتا «قف» و«افسح الطريق» تستعملان للتحكم في دخول المركبات من الشوارع الفرعية إلى الشوارع الرئيسة، وعند التقاطعات التي تكون حركة المرور في جميع الشوارع المتقاطعة عندها كثيفة لدرجة كافية تتطلب حماية المركبات بها. وتشمل وسائل التحكم الأخرى تطبيق مبدأ الشوارع ذوات الإتجاه الواحد ووسائل التحكم بوقوف المركبات التي تمنع الوقوف أو تسمح به مطلقاً أو لفترات محددة، والتحكم بالسرعة والتحكم بحركة المشاة (اعبر أو لا تعبر)، والتحكم بمواقف الحافلات الجانبية، والتحكم بالالتفاف وكيفية استعمال الحارات.

وللتعرف على معايير استخدام وسائل التحكم هذه يمكن الرجوع إلى دليل أدوات التحكم المروري الذي تصدره وزارة النقل في البلد المعني، ومثالُ ذلك دليل وزارة المواصلات في المملكة العربية السعودية.



الشكل (١١,٧). توقيت الإشارات المتناسق.

المساعدات الملاحية
NAVIGATIONAL AIDS

الحاجة للمساعدات الملاحية The Need For Navigation Aids. لقد عانى ملاحو السفن منذ الأيام الأولى للإبحار مشكلة تحديد مواقعهم. وتعتمد الحلول التقليدية لهذه المشكلة – حتى في العصور الحديثة – على نسبة موقع السفينة إلى مواقع الشمس أو النجوم. ولكن هذه الحلول تكون عديمة الفائدة عندما تكون السماء ملبدة بالغيوم أو أثناء الضباب والعواصف. وتصبح المشكلة أكثر حدة عندما تقترب السفينة من اليابسة حيث تظهر أخطار الصخور المغمورة الناتئة والشعاب المرجانية وعوائق مداخل الموانئ. وفي هذه الحالة، يجب أن يعرف ملاحو السفينة موقعها الدقيق، وقد ساعدت أجهزة الرادار وأجهزة تحديد الاتجاه اللاسلكية على زيادة سلامة النقل البحري. ويتيح استخدام الرادار التنبه لوجود العوائق والأجسام الأخرى القريبة من السفينة والتي تظهر صورها على شاشة الرادار بما في ذلك خط الشاطئ والسفن الأخرى. كما أن البوصلة اللاسلكية تتيح للسفينة معرفة موقعها وخط العرض والطول لها، وذلك عن طريق التقاط الذبذبات الصادرة عن محطات إرسال لاسلكية معروفة المواقع (والتي تتميز بالشفرة التي تبثها) باستخدام هوائيات توجه لالتقاط الذبذبات. وقد تطورت هذه الأجهزة إلى درجة أن العملية كلها تتم آلياً. كما أن جهاز «السونار» والأجهزة الصوتية الأخرى تسمح بتحديد مصادر الأصوات وتحديد المسافة بين السفينة والشاطئ أو السفن الأخرى.

الممرات المائية Waterways. تعدّ الهيئات الملاحية المختصة خرائط ملاحية تظهر عليها خطوط الملاحة والقنوات المائية وأعماق المياه والعوائق والأنوار والبيانات الأخرى المفيدة بالنسبة للممرات المائية داخل اليابسة وخارجها. وعادة ما تكون مسؤولية المساعدات الملاحية من اختصاص هيئة خفر السواحل التي تقوم بوضع وتشغيل العوامات الطافية والعلامات على طول جوانب القنوات المائية للإشارة لوجود العوائق والالتفافات والنقاط التي تفترق عندها القنوات المائية. ومعظم مجموعات الصنادل المقطورة مجهزة حالياً بأجهزة رادار تمكنها من الاستمرار في حركتها عندما تكون الرؤية ضعيفة كما في حالة الأمطار والطقس الضبابي. كما أن زمن التأخير ينخفض باستعمال الاتصالات اللاسلكية بين السفن ومشغلي الأهوسة وبين مقطورات السفن نفسها عند التقائها في مجرى مائي ضيق.

الطرق الجوية Airways. كانت الطرق الجوية سابقاً تحدد بوساطة أبراج أرضية مجهزة بأنوار تدور باستمرار، ويمكن للطيار أن يجد طريقه في الليل بالاسترشاد بتقاطع الأضواء المنبعثة من تلك الأبراج. ولكن هذه الطريقة لا تنفع عندما يمنع الضباب الشديد أو العواصف رؤية الأنوار. ومع التقدم العلمي، فإن تلك الأبراج قد استبدلت بموجات لاسلكية بإستثناء أبراج المطارات.

وتعاني الملاحة الجوية الصعوبات نفسها التي تعانيها الملاحة البحرية بالإضافة إلى مشكلات الارتفاع والسرعة العالية وضرورة إبقاء الطائرة في وضع الطيران. ولذا فإن انعدام الرؤية بسبب الضباب والعواصف

يكون أكثر خطورة في الملاحة الجوية. وعند التحليق بسرعة تقارب سرعة الصوت أو تتجاوزها، فإن الطيار لا يمكنه قيادة الطائرة بالاعتماد على النظر المجرد (كما لو كان أعمى عملياً) لأن السرعة العالية لا تتيح له فرصة للتسلسل المنطقي لاتخاذ القرار اعتماداً على المشاهدة بالعين المجردة. كما أن ازدحام المجال الجوي خصوصاً حول المطارات يعتبر من العوامل التي تزيد تعقيد المشكلة.

وتغطي المجال الجوي شبكة من الخطوط الجوية المنتشرة والتي تحدّد بوساطة محطات لاسلكية أرضية تبث إشارات معينة لتعريف الخطوط، وكذلك بوساطة موجات لاسلكية موجهة يمكن للطيار أن يسير تبعاً لها وفي مسارها للوصول إلى هدفه. وبذلك تكون الملاحة الجوية ممكنة بدون الرؤية المجردة. أما الطيران المبني على قواعد الرؤية المجردة فيبقى في الارتفاعات المنخفضة في حين تحلق الطائرات العالية السرعة عالياً فوق جميع الخطوط التجارية باستخدام قواعد الطيران بالأجهزة الإلكترونية.

ويتوافر عدد من الأجهزة الإلكترونية التي تساعد على زيادة سلامة الطيران وموثوقيته، ولكنها ليست متاحة كلها نظراً لتكلفتها العالية حتى لطائرات النقل الجوي التجارية. ويساعد الرادار الطيار على الحصول على معلومات فورية عن ظروف الطقس في مسار الرحلة مسبقاً مما يتيح له تغيير مسار الرحلة وتجنب كثير من الظروف الجوية الرديئة، وذلك بعد الحصول على إذن من مركز التحكم بالمجال الجوي للقيام بذلك. وتعطي أجهزة الرادار المزودة بشاشة الطيار صورة واضحة جداً لمواقع الطائرات وحركتها في المنطقة القريبة منه. وهناك جهاز آخر يرسم خط الرحلة الذي تجتازه الطائرة على خريطة أمام قائد الطائرة.

والمرفق الأساسي للطيران المدني في نظام المجال الجوي الوطني هو المدى الكلي للترددات العالية جداً، إذ إن استخدام الترددات العالية جداً يقلل من التداخلات بينها. وتُبث محطات المدى الكلي للترددات العالية جداً معلومات الاتجاه (الموقع السمتي) إلى الطائرة عبر الخط الجوي المختار. وترسل إشارة دوارة غير مرحلية لها مرجع ثابت هو درجة واحدة لكل درجة من التغير في الزاوية السمتية للدوران. ويقيس جهاز الإستقبال الكلي في الطائرة الفرق في طور الإشارة الذي يشير لزاوية السمت. كما يساعد مؤشر الانحراف عن المسار قائد الطائرة للبقاء على المسار المحدد إلكترونياً حتى المحطة التالية. كما يوفر جهاز البحث الآلي عن الاتجاه مرجعية مناسبة مع المنشآت الأرضية، وتعطي أجهزة قياس المسافة مقدار المسافة من الطائرة إلى أي محطة لاسلكية على طول الخط. وتظهر نقاط مضيئة على شاشات الأجهزة الأرضية لتحديد مواقع الطائرات عندما تطير الطائرات فوقها. كما تُنقل معلومات مناسبة عن مواقع الطائرات إلى مراكز التحكم بالمجال الجوي.

وعندما ينخفض مدى الرؤية إلى أقل من ٣ أميال، فإن جميع الطائرات التجارية والطائرات الأخرى المجهّزة بأجهزة الطيران الآلي تستخدم قواعد الطيران بالأجهزة في جميع الأوقات. أما الطائرات غير المجهزة بذلك فلا يمكنها الطيران إلا إذا كان مدى الرؤية ٣ أميال أو أكثر، وذلك باستخدام قواعد الطيران بالرؤية المجردة.

وعندما تكون الطائرة على بعد حوالي ٣٥ ميلاً من المطار، فإنها تخضع لمراقبة برج التحكم بالحركة في المطار، وتصبح خاضعة تماماً لسيطرته في حدود ٧ أميال حول المطار. وتظهر على شاشة الرادار في برج المطار مواقع جميع الطائرات ضمن مجاله الجوي، ويُخصّص المدرج الذي ستهبط فيه وتعطى الأذن بالهبوط أو توجه

نحو التحليق في نمط معين انتظاراً لدورها في الهبوط. انظر الشكلين (٨ , ١١) و(٩ , ١١). ويكون مدرج المطار مزوداً بعلامات لتمييز أطرافه وتمييز منطقة الاقتراب ومنطقة بداية الهبوط، في حين تساعد الخطوط البيضاء في محور المدرج على إرشاد حركة الطائرة.

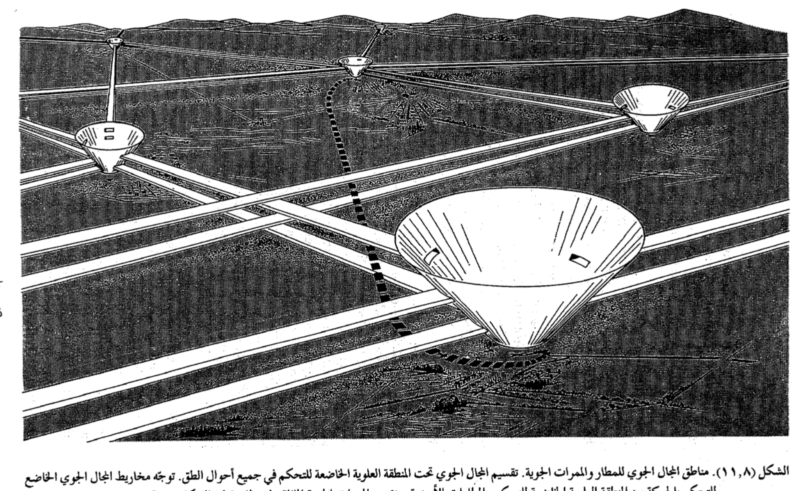
وعندما تكون حركة الطائرات كثيفة، يوجه برج التحكم في المطار الطائرات نحو أنماط طيران معينة لحجز الطائرات بحيث تحلق حول علامات جوية محددة لاسلكياً مع فصل الطائرات بمسافة رأسية قدرها ١٠٠٠ قدم (٣٠٥ أمتار). وعندما تهبط إحدى الطائرات فإن كل طائرة منتظرة تهبط إلى النمط الأسفل منها على مسافة ١٠٠٠ قدم، وتستمر هذه العملية حتى يصل دورها للهبوط.

وعند الليل، تحدد منطقة الاقتراب من المدرج وأطراف المدرج بعلامات مضيئة بأنوار بيضاء وزرقاء وأنوار متقطعة زرقاء وبيضاء. وتحتوي مدارج المطارات المجهزة بأجهزة الهبوط الآلي على صفوف عرضية من الأنوار موضوعة في منطقة الاقتراب من المدرج على ارتفاعات متناقصة كلما اقتربنا من المدرج لتساعد قائد الطائرة على تحديد ارتفاعه بالنظر نسبة إلى المدرج. ويستطيع الطيار أن يدرك إن كان يسير في خط الهبوط الصحيح أو تحته أو فوقه بوساطة ألوان أزواج الأنوار التي يراها أمامه.

وعند القيام بالهبوط الآلي، فإن الطيار يسير تبعاً لموجة لاسلكية بخط اقتراب مائل مشابه لخطوط الموجات التي تبعها أثناء رحلته، وقد يستلم إشارة صوتية أو بصرية للدلالة على مدى التزامه بخط الهبوط حسب نوع الأجهزة الموجودة في قمرة القيادة. وعندما تكون الطائرة خارجة للتو من أسفل نمط الطيران الخاص بالانتظار فإنها تنطلق نحو منطقة الاقتراب النهائي من المدرج عند ارتفاع ١٢٠٠ قدم (٣٦٦ متراً) تقريباً ثم تلتقط موجة مسار الهبوط الدقيق المحدد بإشارات إلكترونية ليتمكن الطيار من توجيه طائرته نحو المدرج ويبدأ بالنزول حتى يصل إلى نقطة يمكنه منها رؤية أنوار منطقة الاقتراب. وتشير مؤشرات قمرة القيادة وأجهزتها إلى وضع الطائرة بالنسبة للمسار المحدد للرحلة، وتتم قيادة الطائرة بحيث يتم ضبط خط متحرك داخل مؤشر فوق علامة معينة في لوحة المؤشر. وعندما يكون خط المؤشر في الوضع الصحيح، فذلك يدل على أن الطائرة في مسارها الصحيح. وتشمل المساعدات الإلكترونية موجة العلامات الإلكترونية الخارجية ومرسل الموجات العالية التردد لخط ميل الهبوط وموجة تحدد مكان خط الهبوط.

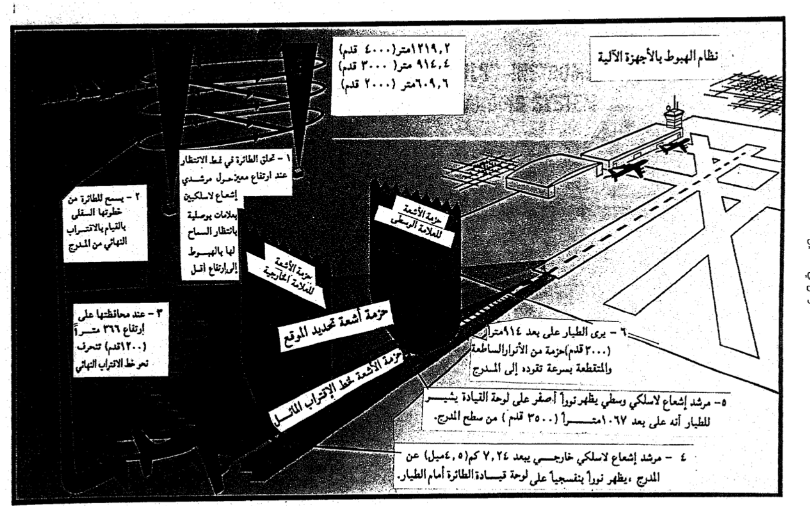
ويزوّد برج التحكم الذي يشاهد ويرسم خط اقتراب الطائرة على شاشة الرادار أيضاً الطيار بنصائح تساعده على توجيه الطائرة. ومن المتبع، عادة، أن يكون الهبوط مبنياً على الأجهزة الآلية، فقط، حيث تقوم أجهزة التحكم الإلكترونية بقيادة الطائرة على موجة خط الهبوط بدون أي سيطرة بشرية مطلقاً. كما أن الطيران أثناء الرحلة على ارتفاع معين يمكن أن يتم آلياً بوساطة الطيار الآلي.

وهناك حاجة لمزيد من التطوير لمنع الاصطدامات في الأجواء المزدحمة حول المطارات. ويجري حالياً استقصاء أنواع مختلفة من أنظمة تفادي الاصطدام واستعمالها، وقد طور نظام يرسل إشارات مؤقتة بدقة كل ٧ ثوان من جهاز حاسوب محمول على متن الطائرة، وتقوم هذه الإشارات بإحاطة كل طائرة بغلاف حماية إلكتروني، وعندما يلامس غلاف معين غلاف طائرة أخرى ينطلق جهاز إنذار صوتي وبصري يظهر على شاشة



الشكل (١١,٨). مناطق المجال الجوي للمطار والممرات الجوية. تقسيم المجال الجوي تحت المنطقة العلوية الخاضعة للتحكم في جميع أحوال الطق. توجّه مخاريط المجال الجوي الخاضع للتحكم بالحركة بين المنطقة العلوية الخاضعة للتحكم والمطارات الأرضية. وتؤدي الممرات الجوية المائلة (غير ظاهرة في الشكل) من قاعدة هذه المخاريط إلى سطح المطار. وتوجد أشرطة من المجال الجوي الخاضع للتحكم التي تصل هذه المخاريط ببعضها. أما الخط المتقطع فيوضح مسارا منفصلا وغير متعارض لطائرة تطير بالرؤية المجردة (نظام الرائي والمرئي).

(Final Report by President's Special Assistant, Edward P. Curtiss, Washington, D.C., May 10, 1957, p. 14)



الشكل (١١,٩). منظر توضيحي لعمليات هبوط الطائرات.

(Courtesy of Welcome Aboard, American Airlines, April, 1957, pp. 46 and 47.)

الرادار لمدة ٦٠ ثانية، ثم يقوم جهاز حاسوب بتحليل المسارات والسرعات والإرتفاعات للطائرات المقتربة ويشير إلى أفضل حركات المناورة التي يجب اتخاذها لتلافي التصادم، أو قد يبدأ بتطبيقها آلياً.

وتتوافر حالياً أنظمة للتحكم بحركة الطائرات تقوم بتنسيق المجال الجوي، وذلك عن طريق تسجيل توزيع الطائرات في المجال الجوي ورفض أي محاولة لتعيين المسار الجوي نفسه لطائرتين في الوقت نفسه وذلك آلياً.

وهناك نظام يساعد على الهبوط الآلي للطائرة يسمى «النظر الدقيق» حيث تنطلق إشارات لاسلكية من جوانب المدرج لتشكل صورة للمدرج أمام الطيار في قمرة القيادة، وبذا يمكن القيام بعملية الهبوط في حالة انعدام الرؤية.

وقد حدثت تصادمات على الأرض بسبب الفوضى التي قد تحدث عند حركة الطائرات على الممرات التي تربط المدارج ومناطق التحميل والتنزيل. وقد طورت أجهزة رادار أرضية وأنظمة آلية لمتابعة حركة الطائرات على الأرض ولحماية توزيع الطائرات على الأرض بطريقة مماثلة لحمايتها في الجو.

أسئلة للدراسة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - ما المقصود بالتحكم في التشغيل وما هي غاياته؟

٢ - ما الدور الذي تؤديه الاتصالات في التحكم بالتشغيل؟ اشرح ذلك بإعطاء أمثلة محددة.

٣ - ميّز مع استخدام الأمثلة بين الطرق الثلاث الممكنة لتحقيق الفصل بين المركبات. ما مزايا كل طريقة وعيوبها؟

٤ - ما المشاكل المتعلقة بعلم «هندسة العوامل البشرية» والمرتبطة بالتحكم في التشغيل، وما التطورات في مجال النقل التي سبّبت وجود هذه المشاكل؟

٥ - ارسم رسماً بيانياً للزمان والمكان لطريق يتقاطع مع عدة شوارع في تقاطعات متباعدة عن بعضها بمسافات ٦٠٠ قدم و ٨٠٠ قدم و ٧٠٠ قدم و ٩٠٠ قدم على الترتيب، وذلك لبيان كيف يمكن تنسيق الإشارات في هذه التقاطعات على طول الطريق للحصول على سمة خضراء مستمرة للإشارات إذا كانت السرعة المحددة هي ٢٥ ميلاً/ ساعة وكانت الدورة الزمنية للإشارة مكونة من ١٥ ثانية أخضر و ٥ ثوان أصفر و ٢٠ ثانية أحمر.

٦ - صمم دورة زمنية لإشارة في تقاطع شارعين كل منهما أحادي الاتجاه، وعرض كل منهما ٤٠ قدما والوقوف مسموح به على الجانبين وعامل التحميل يساوي ٠,٨، وتشير المسوحات المرورية إلى أن حجم المرور في ساعة الذروة هو ٨٠٠ مركبة في الساعة لأحد الشارعين و ٥٠٠ مركبة في الساعة للشارع الثاني، وتبلغ حركة المشاة ٦٠ شخصاً للشارع الأول و ٣٠ شخصاً للشارع الثاني. ماذا يتغير لو أضفنا فترة خضراء لمن يريد الالتفاف لليسار مقدارها ١٠٪ من طول الدورة؟

٧ - باستخدام العرض بأسلوب المخططات التتابعية، وضّح الإجراءات الاسمية والعادية أثناء إعداد شركة طيران القيام برحلة طيران تجارية بما في ذلك عملية إبقاء الطائرة وحجزها في محطة الوصول. أشر إلى مسؤولية التحكم في كل مرحلة من مراحل الرحلة.

٨ - اشرح مع الرسم استخدامات الأنوار في الملاحة النهرية والحركة عبر الأهوسة.
٩ - ما العوامل التي أدت إلى تبني استخدام المايكرويف للاتصالات في عمليات السكك الحديدية وفي الأنابيب؟
١٠- اشرح كيف تستخدم أوامر القطارات في عمليات السكك الحديدية.
١١- ارسم دائرة كهربائية للسكة الحديدية واشرح كيف تعمل وبيّن أهمية استخدامها في عمليات السكك الحديدية وإشاراتها.
١٢- وضّح كيف يختلف التحكم المركزي بالحركة عن الترحيل العادي لكل من (أ) السكك الحديدية و (ب) خطوط الأنابيب؟
١٣- لو طلب منك إنشاء نظام للتحكم المركزي بعمليات سير متحرك، ما هي أنواع المعلومات ووسائل التحكم التي ستضعها في لوحة التحكم أمام المُرحّل أو المسؤول عن التشغيل؟

قراءات مقترحة
SUGGESTED READINGS

1. *The Standard Code* (of operating Rules Block signal Rules, Interlocking Rules), Association of American Railroads, Chicago, Illinos.
2. *American Railway Signaling Principles and Practices* (separately bound chapters, especially Chapter III, "Principles and Economics of Signaling"), Signal Section, Association of American Railroads, Chicago, Illinois.
3. Harry W. Forman, revised by Peter Josserand, *Rights of Trains*, Simmons-Boardman Publishing Company, New York, 1974 edition.
4. Edmund J. Philips, Jr., *Railway Operation and Railroad signaling*, Simmons-Boardman Publishing Company, New York, revised edition.
5. *Elements of Railway Signaling*, Handbook 50, June 1954, General Railway Signal Company, Rochester, New York.
6. L. R. Allison, "A Modern Cab Signaling and Train Control system for Railroads", *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, Paper No. 59-252-20 February 1959.
7. Martin Wohl and Brian U. Martin, *Traffic Systems Analysis*, McGraw-Hill, New York, 1967.
8. Paul K. Eckhardt, "A New Centralized Control System to Handle Complex (Pipe Line) Dispatching", *Petroleum Engineer*, January 1955.
9. Irving Conklin, *Guideposts of the Seas*, Macmillan, New York, 1939.
10. *Manual on Uniform Traffic Control Devices*, U. S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D. C., 1971.
11. *Transportation and Traffic Engineering Handbook*, John E. Baerwald, Editor, Institute of Traffic Engineers, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1975.
12. *Traffic Signals*, Transportation Research Board, REC 445, Transportation Research Board-National Research Council, Washington, D. C., 1973.
13. *Freeway Operations and Control*, Transporation Research Board, REC 388, Transporation Research Board-National Research Council, Washington, D. C., 1972.

14. *Traffic Control Guidance,* Transportation Research Board, REC 503, Transportation Research Board-National Research Council, Washington, D. C., 1974.
15. Donald R. Drew, *Traffic Flow Theory and Control,* McGraw-Hill, New York, 1968.
16. *Instrument Flying, Handbook,* Federal Aviation Dministration, U. S. Department of Transportation, Wahshington, D. C., 1971.
17. Report of the Task Force on Air Traffic Control, Report of *Project Beacon,* Richard R. Hough, Chairman, Federal Aviation Agency, Whashington, D. C., October 1961.



الفصل الثاني عشر

تكلفة الخدمة
COST OF SERVICE

التكلفة كعامل مُحدِّد Cost as a Determining Factor . قلما يمكن رؤية المزايا التقنية للمشاريع بمنظورها الصحيح ما لم تعرف خلفياتها الاقتصادية . وعادة ما تتحكم تكلفة القيام بأداء خدمة النقل (أو الحصول عليها من ناقلين آخرين) بالقرار النهائي لاختيار وسيلة النقل باستثناء الحالات التي تسود فيها أحوال تقنية مقيدة كما في اختيار العربات الهوائية المعلقة في المناطق الجبلية الوعرة ، حيث لا تسمح تلك التضاريس باستخدام وسائل نقل أخرى . وحتى في هذه الحالة ، ربما لاتزال التكلفة هي العامل الذي يتحكم بذلك ، إذ قد يمكن اختيار إنشاء سكة حديدية بدلاً من العربات الهوائية المعلقة لو كانت التكاليف الباهظة لشق الأنفاق ومد السكة هي الأقل مقارنةً بالبدائل الأخرى . وعادة ما تكون التكلفة الاقتصادية الإجمالية للبديل الذي يجري اختياره أقل منها للبدائل الأخرى .

وتهتم شركات النقل الخاصة اهتماماً مباشراً بتكلفة تقديم الخدمة ، إذ إن الاستثمارات في إنشاء الطريق والمعدات وتكاليف التشغيل والمحافظة على الخدمة تكون ضخمة . وبالإضافة لذلك ، تهتم شركات النقل العام بالتكلفة كعامل لتحديد أجور النقل وتعرفته التي يجب على الشاحنين دفعها لقاء خدمة النقل ، فالمستخدم الذي يشتري خدمة النقل من شركة النقل لا ينظر إلا للتعرفة ، فقط ، على أساس أنها تكلفته دون أي اهتمام مباشر بالتكلفة الفعلية للناقل .

وقد ناقشنا في الفصول السابقة الخصائص التقنية والعيوب والمزايا لعديد من أنواع وسائل النقل . وهذه الخصائص قد تساعد أو تعيق كل وسيلة نقل عند أدائها لوظيفتها . وتتفاوت قدرات وسائل النقل المختلفة لتوفير المرونة والسرعة والسلامة والاعتمادية والاقتصاد في أدائها . ويجب أن تكون وسيلة النقل الأكفأ تقنياً قادرة في معظم الأحيان على أن تعكس مزاياها التقنية على شكل تكاليف تشغيلية إجمالية منخفضة وبالتالي ، تكون تعرفتها منخفضة .

ويستقطب الناقل الذي يعرض خدماته بتعرفة أقل من غيره عدداً أكبر من الشاحنين لنقل شحناتهم ، إلاّ أن هذا ليس بالضرورة صحيحا ، إذ تدخل عوامل أخرى في الحسبان ، فمثلاً ، قد يتسبب البطء في نقل الشحنة وتسليمها في ارتفاع التكاليف على صاحب البضاعة مما لا يبرر استخدام خدمات الناقل الرخيص التعرفة والبطيء في الخدمة . ومن الممكن أن تكون التكاليف العالية لخدمة الطائرات السريعة أقل تكلفة اقتصادية لمالك الشحنة إذا كانت الشحنة قطع غيار ضرورية ومطلوبا نقلها فوراً لمنع تعطل العمل في مصنع أو شركة مهمة . كما أن هناك صنفاً من المسافرين والركاب مستعد لدفع مبالغ إضافية مقابل زيادة الراحة أو السرعة أثناء الانتقال ، ولكن، على النقيض من ذلك، يوجد صنف من الشاحنين الذين ينجذبون للناقلين الذين يعرضون تعرفة نقل منخفضة ، سواء للبضائع أو للركاب ، بالرغم من ارتفاع التكلفة الإجمالية عليهم لأنهم لا يدركون مفهوم التكلفة الاقتصادية الإجمالية . وبالمثل ، فإن شركات النقل التي لا تحسب تعرفتها على أساس التكلفة الإجمالية لها تمنى بخسائر نتيجة قيامها بالنقل بتعرفة لا تغطي حتى تكاليف مصروفات التشغيل للخدمة .

ولذلك ، فإن تعرفة النقل وما يصاحبها من مشكلات تعد ذات أهمية كبيرة . وعادة لا تكتسب القدرة التقنية للناقل أية أهمية مهما كانت متفوقة إذا كانت العامة لا تستغلها بسبب تعرفتها المرتفعة سواء أكان هذا الارتفاع حقيقياً أم ظاهرياً . ويمكن للفروقات في التعرفة بين الناقلين المختلفين - إذا كانت مبنية على تكلفة الخدمة - أن تعكس بدقة خصائصها التقنية ، ولكن هناك عوامل أخرى غير تقنية تدخل في تركيب تعرفة النقل وتشمل عوامل المنافسة والقوانين الحكومية والإعانات الحكومية وحتى العوامل السياسية ، ويمكن أن تكون هذه العوامل أكثر أهمية من العوامل التقنية في تحديد التعرفة التي سوف يعتمدها الناقل أو التي يسمح له بفرضها على العامة .

التكلفة كأساس للتعرفة Cost as a Basis for Rates. تبعاً للنظرية التقليدية لتحديد تعرفة خدمة النقل ، فإن التعرفة تبنى على تكلفة الخدمة . ويقصد بتكلفة الخدمة المصاريف الفعلية المباشرة وغير المباشرة بالإضافة إلى هامش معقول للربح . ولذلك، فإن تعرفة النقل ستختلف من ناقل لآخر لاختلاف تكلفة القيام بخدمة النقل بينهما . كما أن التعرفة ستختلف باختلاف السلع المطلوب نقلها واختلاف أنواع الخدمة المطلوبة . فمثلاً، ستكون خدمة النقل السريع بالسكك الحديدية للسلع السريعة التلف مثل الخضراوات والفواكه أعلى من تعرفة نقل الفحم السائب بسرعة بطيئة . ويواجه المهندس مشكلة لا تنتهي في محاولة ضمان وجود أنظمة نقل تقنية تعطي أقل تكاليف ممكنة .

ولكن الوضع يختلف عندما يكون هناك عدم توافق كبير بين التعرفة وتكلفة الخدمة . وفي تلك الحالات، قد لا تكون التعرفات معدلة لتتناسب مع الطلب أو عدم توافر الطلب . وفي الحالة الأخيرة، قد تكون التعرفة منخفضة إلى الحد الذي يغطي التكاليف الهامشية أو الحدية للخدمة . وهناك أمثلة للتسعير المبني على أساس مواجهة حالة عدم توافر الطلب ، وذلك في قطاعات أخرى غير النقل ، فشركات التزويد بالطاقة الكهربائية عادة ما تعرض تعرفة أقل من المعتاد ، وذلك خلال فترات عدم الذروة محاولة منها لاستغلال السعة الزائدة في تلك الأوقات كما هو الحال، أيضاً، في شركات النقل التي تعرض أسعاراً مخفضة خلال فترات ركود الطلب وخلال نهاية الأسبوع . وفي بعض الحالات، تحسب شركات السكك الحديدية، مثلاً ، التعرفة على أساس قيمة الخدمة

للشاحن ، أي حساب التكلفة بناء على قيمة البضائع المنقولة ، وهذا يعني أن المبالغ المحصلة من النقل ليست مبنية على أساس تكفل كل شاحن بدفع نصيبه الكامل من التكلفة عندما تختلف أنواع السلع المنقولة .

ومن البديهي لشركات النقل الخاص أن تهتم بالتكلفة عندما لا يكون الربح من عمليات النقل هدفاً . وسنحاول في التحليلات التالية دراسة طبيعة تكاليف النقل لكل من شركات النقل الخاص والعام . وعند تحديد التعرفة للنقل العام ، تبرز عدة صعوبات بسبب الحاجة لتحديد التكاليف وتوزيعها على أنواع ودرجات مختلفة من الخدمة التي تقدم .

ولقد جرى استخدام معايير مختلفة على مر السنين أساساً لتحديد تعرفة النقل . وفي وقت من الأوقات ، كان الاعتقاد السائد لدى الجهات التشريعية والهيئات الحكومية المسؤولة عن مراقبة تعرفة النقل أن من حق شركة النقل تحديد تعرفتها على أساس تحقيق عائد «معقول» لرأس المال المستثمر في التجهيزات والمعدات والمركبات . وقد دار جدل كبير حول تفسير كلمة «معقول» وهل يتم تقويم التكلفة على أساس التكلفة الابتدائية الأصلية أو تكلفة الاستبدال أو تكلفة متوسطة بين الحالتين . وهناك معيار آخر لتحديد التعرفة يعتمد على احتفاظ شركة النقل بسمعة مالية حسنة حيث يسمح لشركة النقل بتحقيق عائد كاف يمكنها من توزيع أرباح على المساهمين وبالتالي ، المحافظة على سمعتها المالية وقدرتها على استقطاب أموال من الأسواق المالية لتمويل عملياتها . كما أن هناك إعتبارًا أخر يتعلق بتأثير التعرفة على حركة النقل . وفي بعض الأحيان ، تلجأ الحكومات لدعم بعض المنتجات والسلع ، خصوصاً المنتجات الزراعية ، على شكل تعرفة مخفضة للنقل . وفي أحيان أخرى ، تنظّم الهيئات الحكومية المختصة النقل برفض السماح بزيادة التعرفة لقناعتها بأن التعرفة المقترحة ستعمل على رفع سعر السلع المشحونة على المستهلك مما يقلل من الطلب عليها في تلك الأماكن وبالتالي ، يلجأ أصحابها إلى شحنها إلى أماكن أخرى . كما تنتبه الهيئات الحكومية ، أيضاً ، لتأثير تعرفة ناقل معين على غيره من الناقلين ، وذلك خوفاً من أن يلجأ بعض الناقلين إلى تقليل بعض التعرفات لإجبار منافسيه على تخفيض أسعارهم وتقليل الطلب عليهم في سبيل القضاء عليهم .

وليست وظيفة هذا الكتاب البحث في مزايا هذه المعايير العديدة التي يدور حول بعضها جدل كبير . والنقطة التي يجب التركيز عليها أن التعرفة ، بغض النظر عن الأهمية المعطاة لهذه المعايير ، يجب أن تعكس التكاليف ولا يمكن الاستمرار في إبقائها أقل من مستوى التكاليف فترة طويلة دون حدوث كارثة .

ولذلك ، فإن تكلفة الخدمة تعدّ عاملاً أساسياً وقاعدة تبنى عليها تركيبة التعرفة . وإذا كانت تكاليف الخدمة لكل نوع من السلع متساوية فإن تعرفة النقل ستكون واحدة لجميع أنواع السلع المنقولة . أما إذا اختلفت التكاليف فإن ذلك يتيح ويبرر اختلاف التسعير ، كما يتضح من ارتفاع تعرفة الشحنات التي تقل عن حمولة عربة مقارنة بتعرفة الشحنة التي تملأ عربة ، أو تعرفة نقل شحنة من ألواح زجاجية مقارنة بنقل شحنة من الرمل . ولكن ذلك ليس صحيحاً دائماً ، إذ تعترض الهيئات الحكومية المختصة ، عموماً ، على أن تنعكس حقيقة أن وحدة التكلفة للمسافات الطويلة أقل منها للمسافات القصيرة في تعرفة شركات النقل العام .

ويحتاج لفظ «التكلفة» لمزيد من التعريف خصوصاً عند اعتبارها عاملاً في تركيب التعرفة . ويمكن للمرء أن يتحدث عن التكاليف المتوسطة والتكاليف الإدارية والتكاليف الممكن تلافيها والتكاليف النقدية والتكاليف

الهندسية والتكاليف الثابتة والتكاليف المتغيرة والتكاليف الرأسمالية والتكاليف التشغيلية. وسنعرف هذه الأنواع من التكاليف ونذكر أهميتها في الفقرات التالية.

التكاليف الرأسمالية والتكاليف التشغيلية Capital Costs and Operating Costs. «التكاليف الرأسمالية» هي التكاليف الابتدائية لتوفير المرافق والمعدات وتكاليف أية إضافات أو تحسينات لتلك التجهيزات. وتنقسم هذه التكاليف إلى قسمين أساسيين هما الاستثمار في الطرق والمنشآت، والاستثمار في المعدات. فبعض الناقلين يستثمر استثماراً أساسياً في المعدات كما في شركات الطيران مثلاً. وهناك ناقلون آخرون يستثمرون، فقط، في الطرق والمنشآت كما في شركات إدارة الطرق الخاصة. وهناك نوع ثالث من الناقلين يستثمر فيهما معاً كشركات السكك الحديدية وشركات خطوط الأنابيب. وفي بعض وسائل النقل، يجعل التعدد في ملكية المرافق والتجهيزات تحديد التكلفة مسألة صعبة مما يؤدي إلى المنازعات وسوء الفهم وعدم النزاهة في ذكر التكلفة الفعلية لكل ناقل. وتشمل التكاليف الرأسمالية العائد على رأس المال المستثمر. وعادة ما تكون الأموال مقترضة وبالتالي فإن الفائدة الربوية المترتبة على القروض تعد خسارة ولا تدخل كعنصر في التكاليف التشغيلية.

أما «المصاريف التشغيلية» فهي تكاليف القيام بإدارة عمليات النقل وتشغيلها، وتشمل ما يلي:

صيانة الطريق. وتشمل تكاليف صيانة الطريق والسكة، والرصفية وقاعدة الطريق الترابية، والأنهار والمرافىء، والقنوات المائية والسدود، وأسلاك العربات الهوائية المعلقة وأبراجها، وخطوط الأنابيب... إلخ، والمنشآت التابعة لها. ويطلق على هذه التكاليف في مصطلحات السكك الحديدية لفظ «تكاليف صيانة السكة والمنشآت». وتقليدياً، فإن شركات السكك الحديدية وخطوط الأنابيب والسيور المتحركة والعربات الهوائية المعلقة تقوم بإنشاء طرقها ومساراتها الخاصة وصيانتها، أما الطرق البرية والقنوات النهرية والقنالات والمرافىء والممرات الإرشادية الجوية والمطارات، فعادة ما تقوم هيئات حكومية بإنشائها وصيانتها.

صيانة المعدات. وتشمل جميع تكاليف صيانة القدرة المحركة والمعدات الثابتة والمتحركة التي تضم العربات والقاطرات والشاحنات والجرارات والمقطورات والسيارات والحافلات والسفن والصنادل والمضخات والضواغط في خطوط الأنابيب ومعدات الطاقة والسيور في السيور المتحركة والعربات والآلات في العربات الهوائية المتعلقة.

تكاليف النقل. وهي تكاليف القيام بعملية النقل جميعها، وتشمل عناصرها الرئيسة الوقود والطاقة وأجور أطقم تشغيل المركبات وتكاليف المحطات وأجور أولئك الذين يوجهون حركة المركبات. وفي حالة الطائرات، فإن التكلفة الأخيرة يمكن أن تتحملها الهيئات الحكومية وهيئات التحكم بالحركة في المطارات. أما التحكم بحركة المرور على الطرق فتوجّهها جزئياً شرطة المرور الحكومية، في حين يشترك في التحكم في الملاحة المائية كل من مرحلي شركات السفن وخفر السواحل ومديري المرافىء المحلية.

تكاليف الشحن. وهي تكاليف عرض خدمات الشحن ، والدعاية والإعلان، ونشر قوائم الأسعار والتعرفة ، وإدارة هذه الجهود .

تكاليف عامة ومتفرقة. وهذه تشمل جميع مصاريف المكاتب العامة ، وتكاليف الإستشارات القانونية والمحاسبية، ورواتب موظفي الإدارة ومديريهم .

ويعطي الجدول (١ , ١٢) بعض متوسطات التكاليف والإيرادات لمختلف أنواع وسائل النقل. ولأن هذه متوسطات للتكاليف، فإن الصورة الإجمالية لمصاريف العمليات هي الممثلة في الجدول ، إذ قد تختلف التكلفة لأي نوع معين من الشحنات اختلافاً كبيراً عن المتوسط . وكما سنرى لاحقاً ، فإن التكاليف الفعلية قد لا تتغير تغيراً مباشراً مع تغير حجم الشحن .

الجدول (١٢,١): قيم نمطية لتكاليف التشغيل وللإيرادات[أ]

وسيلة النقل	التكلفة لكل طن صاف–ميل (أو لكل راكب–ميل) (بالسنت الأمريكي)[ب]	الإيرادات لكل طن صاف–ميل (أو لكل راكب–ميل) (بالسنت الأمريكي)
السكك الحديدية :		
الشحن	١,١٠ إلى ١,٧٦	٢,٤١
الركاب (بين المدن)	١٤,٨٨١	٥,٦٠٩
الشاحنات	٢,٠ إلى ٨,٠	
الممرات المائية داخل اليابسة	٠,٤٥	٠,١٧٥ إلى ٠,٣٠٠
الطرق الجوية :		
الشحن	٢٢,٧	١٩,٨
الركاب	٠,٠٨٦	٠,٠٧٣
الحافلات :		
بين المدن		٠,٣٦
نقل عام داخل المدن		٨,٣
خطوط الأنابيب	٠,٢٢ إلى ٠,٢٧	
السيور المتحركة	١,٨٠ إلى ٢,٥٠	
العربات الهوائية المعلقة	٥,٠ إلى ١٢,٠	

(أ) استقيت هذه القيم من مصادر مختلفة في الولايات المتحدة الأمريكية بين عامي ١٩٦٧م و١٩٧٦م، ما عدا قيم العربات الهوائية المعلقة فهي من تقديرات المؤلف .

(ب) الدولار الأمريكي: ١٠٠ سنت.

التكاليف الثابتة والمتغيرة Fixed and Variable Costs . يعد تصنيف التكلفة إلى تكاليف ثابتة وتكاليف متغيرة من أهم تصنيفات التكلفة التي سندرسها هنا . فالتكاليف الثابتة تصرف بغض النظر عن حجم الشحن أو حجم الإركاب المنقول ، ويمكن أن تستمر حتى عندما لا يكون هناك أي حركة مطلقاً . وتقع المصاريف العامة للمكاتب ضمن هذا النوع من التكاليف ، وكذلك فإن رواتب رئيس الشركة ونوابه والموظفين في أقسام الشركة يستمر صرفها سواء كان عدد الحافلات العاملة ١٠ حافلات أو ٢٠ حافلة ، كما يستمر صرفها سواء كان حجم النقل ثابتاً خلال العام أو يتزايد وينخفض من فترة لأخرى . ويجب فحص سلامة الجسور مادام هناك حركة تسير عليها ، كما يجب صيانة الأنفاق سواء مرت عبرها مركبة واحدة أو ١٠ مركبات . كذلك يجب صيانة الأهوسة والسدود وتجهيزها بالأفراد العاملين بغض النظر عن حجم الملاحة النهرية . ويطلق على التكاليف الثابتة ، أيضاً ، لفظ التكاليف الإدارية .

وعلى النقيض من ذلك ، فإن التكاليف المتغيرة تتذبذب تبعاً لتذبذب حجم الحركة . فالأجور التي تدفع لسائق الشاحنة مرتبطة بوجود شاحنة لقيادتها ، ولا يتم طلب قيادة الشاحنة (أو شرائها أو استئجارها ابتداء) إلا إذا كان هناك شحنة لنقلها داخلها . ولا يتم استدعاء طاقم الطائرة أو ملاحي قطار الشحن إلا إذا توافر حجم كاف من الطلب لقيام الطائرة أو تشغيل القطار بمردود اقتصادي . كما أن استهلاك الوقود مرتبط بتشغيل المركبة ويتناسب مع مقدار حمولة المركبة .

والتكاليف الثابتة والمتغيرة مرتبطة بعامل الوقت ، ويقصد بلفظ «المدى القصير» أو «المدى القريب» أن المدة الزمنية قصيرة بدرجة كافية لتظل سعة نظام النقل ثابتة . أما المدى البعيد أو المدى الطويل فنقصد به أن الفترة الزمنية طويلة لدرجة كافية لحدوث تغيرات في السعة . وفي حالة المدى القصير ، فإنه لا يحدث أثناء ذلك تغيرات في أعداد السكك أو حارات الطريق أو القاطرات أو الشاحنات أو الحافلات أو الصنادل . كما لا تتعرض المحطات وأنظمة التحكم لأي تغيرات في سعتها ، وتتم مجابهة التغير في الطلب عن طريق تكثيف استغلال التجهيزات المتوافرة .

أما على المدى البعيد ، فعادة ما تحدث تغيرات في السعة وتتطلب زيادة الحركة حارات إضافية للطرق ، وزيادة أعداد أماكن وقوف المركبات ، والسكك والإشارات ، وزيادة أعداد الطائرات والشاحنات والحافلات والعربات والقاطرات أو أحجامها . وتزيد التكاليف الثابتة نتيجة التكاليف الرأسمالية والتشغيلية للمرافق الجديدة ، كما يمكن أن تزيد التكاليف الإجمالية المباشرة ، أيضاً .

وتعرف «التكاليف التزايدية» بأنها التغيرات في التكلفة بسبب التغير في إنتاج عمليات النقل (السعة المستغلة) وهو مقياس لمقدار الزيادة في التكاليف الكلية نتيجة للزيادة في الإنتاج . وبالعكس ، فإن «التكاليف التناقصية» أو التي يمكن تجنبها تعد مقياساً لتكلفة تخفيض الإنتاج . وتقيس «التكلفة الهامشية أو الحدية» تكاليف إنتاج وحدة إضافية من المنتج (أو التوفير من تقليل الإنتاج بمقدار وحدة واحدة) . وسنعرف الأنواع الأخرى للتكلفة عند ورودها .

تكاليف السيارة Automobile Costs. إن اقتناء سيارة خاصة له تكاليفه على المدى القريب وعلى المدى البعيد ، ولا يهتم معظم مالكي السيارات إلا بالتكاليف على المدى القريب ، أي تكلفة الوقود والزيت والإطارات والإصلاح . ويصل معدل هذه التكاليف نحو ثمانية سنتات أمريكية لكل ميل . وقد قامت إدارة الطرق الاتحادية الأمريكية

بدراسة تكلفة اقتناء سيارة خاصة على أساس سعر الشراء (التكلفة الرأسمالية) والتي تستهلك على مدى عشر سنوات وتقطع ١٠٠,٠٠٠ ميل (١٦٠,٩٠٠ كم) خلال عمرها التشغيلي. ويوضح الجدول (١٢,٢) هذه البيانات التي يلاحظ منها أن التكلفة لكل ميل تقطعه السيارة أعلى كثيراً مما هو مقبول عادة. ويمكن معرفة تفاصيل حساب ذلك من المرجع المذكور في الجدول. وتزداد تكلفة ملكية السيارة مع زيادة تكاليف الوقود وارتفاع نسبة التضخم.

الجدول(١٢,٢): تكاليف امتلاك سيارة خاصة وتشغيلها (سنت أمريكي لكل ميل)(أ)

نوع السيارة	ثمن الشراء	الصيانة، الإصلاح والإطارات	الوقود والزيت (بدون ضرائب)	موقف السيارة	التأمين	ضرائب حكومية	التكلفة الإجمالية
عادية	٤,٢	٣,٤	٣,٢	٢,٠	١,٦	١,٥	١٥,٩
صغيرة	٢,٩	٢,٧	٢,٦	٢,٠	١,٥	١,٢	١٢,٩
صغيرة جدًا	٢,٣	٢,٥	٢,٠	٢,٠	١,٥	٠,٩	١١,٢

(أ) L.L. Liston and R.W. Sherrer, Cost of Operating on automobile, Fedral Highway Adminstration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., April 1974, p.1.

التكاليف المشتركة Joint Costs. نورد هنا التكاليف المشتركة لعلاقتها الوثيقة بالتكاليف الثابتة. والتكاليف المشتركة هي تلك التكاليف الإنتاجية التي تشترك فيها سلعتان أو أكثر من السلع التي تنتج آنياً والتي تكون فيها إحدى السلع، عادة، منتجاً ثانوياً بسبب إنتاج السلعة الرئيسة. فمثلاً، تعد الجلود منتجاً ثانوياً لإنتاج معلبات اللحوم. وفي النقل، يعد نقل البضائع في سفينة ركاب أو طائرة ركاب ناتجاً ثانوياً وبالتالي، فإن تكلفة النقل تكون تكلفة مشتركة. وهذا عرضة لبعض الانتقاد لأنه من الممكن توزيع التكلفة توزيعا منفصلاً وواضحاً لكل نوع من الخدمة. ولكن قد يكون هناك مثال آخر أفضل لتوضيح الفكرة ويتمثل في حالة نقل بضائع في رحلة عودة الشاحنة التي تقوم بتوصيل البضائع في اتجاه واحد، عادة، إذ يجب أن تعود الشاحنة إلى مقرها الأصلي في كل مرة سواء كانت فارغة أو محملة. وإذا حدث أن رجعت محملة فإن خدمة النقل التي أنتجت في رحلة العودة يمكن اعتبارها منتجاً ثانوياً للرحلة الأصلية. وتعد تكاليف نقل الحمولتين في اتجاه الذهاب واتجاه العودة تكاليف مشتركة.

ويذكر، أحياناً، أن حركة البضائع والركاب على السكك الحديدية تنتج تكاليف مشتركة، ولكن من الأولى تسمية هذه التكاليف بالتكاليف العمومية لأن التجهيزات والمعدات نفسها هي التي تنتج خدمة الشحن وخدمة الركاب. وربما ينطبق ذلك على السدود التي تنتج الطاقة الكهربائية وتتحكم بالفيضانات وتقوم بالري وتستخدم للملاحة في المياه الراكدة. فعندما يتم إنشاء سد من أجل الملاحة، بالإضافة إلى واحد أو أكثر من الأغراض الأخرى، فإن تكاليف السد ستكون مشتركة بين الخدمات المتعددة التي تقدمها. ويبرز عندها سؤال عن كيفية تقسيم تلك التكاليف بين الخدمات المختلفة. ولم يتم حتى الآن الخروج بصيغة مرضية تماماً للقيام بذلك؛ إذ تعتمد إحدى

الطرق على نسبة الطول الإضافي اللازم للسد لأداء الخدمات الإضافية. وعيوب هذه الطريقة واضحة، وتبرز مشكلة مشابهة عند تقسيم تكاليف القاعدة الترابية للطريق وحرم الطريق عندما يوضع خط حديدي للنقل العام السريع في الجزيرة الوسطية لطريق سريع حديث. ويعد استخدام المركبات المشترك للطريق للترفيه وكذلك استخدام المركبات التجارية لها مثالاً آخر للتكاليف العمومية أيضاً.

التكاليف المباشرة وغير المباشرة Direct and Indirect Costs. إن التكاليف المباشرة التي تسمى أحياناً التكاليف النقدية المباشرة هي التي تحدث أثناء عملية نقل معينة وتتعلق بها هي، فقط. فالتكاليف المباشرة لتشغيل طائرة هي أجور ملاحي الطائرة وتكلفة الوقود والزيوت المستهلكة ورسوم الهبوط والإصلاحات التي تتم بين الرحلات. أما التكاليف غير المباشرة فهي تلك التي تحدث نتيجة تقسيم تكاليف عمليات شركة الطيران جميعها على الرحلات المنفردة تقسيماً محاسبياً إختيارياً نوعاً ما. فمثلاً، تقع تكاليف حظائر الطائرات ومرافق الإصلاح، ودائرة المحاسبة والمبيعات، والمصاريف العامة للمكاتب ضمن هذا النوع. ولذا، فإن هناك علاقة وثيقة وتشابهاً بين التكاليف المباشرة والتكاليف المتغيرة، وكذلك بين التكاليف غير المباشرة والتكاليف الثابتة. وتكاد هذه الألفاظ أن تستعمل مترادفةً في عمليات النقل.

الناقلون ذوو التكاليف المتغيرة وذوو التكاليف الثابتة Variable-Cost and Fixed-Cost Carriers. يشير استعراض الخصائص التشغيلية لجميع أنواع الناقلين إلى أن لكل نوع منها نسبة معينة من التكاليف الثابتة ونسبة مكملة من التكاليف المتغيرة. وتتفاوت قيم هذه النسب كثيراً، ولكن يمكن تصنيف أنواع الناقلين، عموماً، إلى نوعين أحدهما ذو التكاليف الثابتة والآخر ذو التكاليف المتغيرة، ومن المهم فهم أسباب هذا التعميم ومبرراته.

إن العامل الأساسي لتحديد نسبة التكاليف الثابتة إلى التكاليف المتغيرة هو حجم التجهيزات الثابتة المخصصة لخدمة النقل. فمثلاً، لا يمكن لخط أنابيب أن يضخ حتى برميلا واحدا من الزيت عبره قبل إنشاء خط الأنابيب ومدة من بدايته إلى نهايته. ويجب أن يكون مقاس الأنبوب كافياً لاستيعاب السعة القصوى المتوقعة، عادة، وأن يتم تغليفه وحمايته من الصدأ ورفعه عند عبور الأنهار أو دفنه في خندق محفور في حرم خاص به. كا يجب إنشاء محطات للضخ وتقوية الضخ على مسافات معينة، وإنشاء خطوط تجميع وصهاريج تخزين في مواقع متوسطة على الخط وفي نهايته. كما يحتاج الخط إلى نظام اتصالات وطرق للخدمة. بعد ذلك، يجب توفير طاقم بشري للتشغيل وإدارات مساندة للمبيعات والمحاسبة والصيانة والاستشارات القانونية والمستودعات. وتحدث جميع هذه التكاليف الرأسمالية قبل شحن أي برميل من الزيت. كما تستمر تكاليف صيانة المحطات والمعدات في التراكم سواء جرى تشغيل الخط بنسبة ٥٠٪ أو بنسبة ١٠٠٪ من سعته. كما تستمر معظم المصاريف حتى إذا أغلق الخط مؤقتاً، حيث تستمر مصاريف التمويل ومصاريف المكاتب العامة والمستودعات والاتصالات وبعض مصاريف الصيانة والتشغيل. ومن الواضح أن هذا مثال لناقل ذي نسبة عالية من التكاليف الثابتة. وتشمل تكاليفه المتغيرة تكاليف الوقود والطاقة، والتي يكون استهلاكها أكبر عند الضخ بكامل سعة الأنبوب منه عند الضخ بمقدار أقل من السعة (ولكن ليس بالتناسب)، كما تشمل، أيضا، تكاليف الصيانة التي تزيد بسبب زيادة استعمال المعدات. ولأن النقل عبر خط الأنابيب يستمر مدة

٢٤ ساعة في اليوم ، فإنه سيتم إنفاق جميع المصاريف الأخرى بغض النظر عن كمية الضخ والشحن .

وعلى سبيل مثال آخر لذلك ، نذكر السكك الحديدية ، فقبل أن يمكن نقل أي شحنة بين محطة بداية ومحطة نهاية على السكة ، فإنه يلزم توفير قاعدة أساس مستقرة وجيدة التصريف للمياه مع حرم للسكة خال من العوائق ومحصور بسياج على جانبي السكة الحديدية . كما يلزم توفير الجسور والأنفاق والقطع العميق والردم والتقاطعات السطحية والمنفصلة مع الطرق . ويجب مد القضبان والعوارض وحصى الفرش لتشكيل السكة بالإضافة إلى التفريعات والساحات . كما يجب إنشاء المحطات وأحواش المحركات والمحلات التجارية ، وتجهيز الإمداد بالوقود والماء والرمل وما شابهها ، وإنشاء نظام لتوجيه القطارات مع الاتصالات والإشارات ، وذلك لضمان حركة القطارات بكفاءة وأمان . كما يجب توفير عدد كاف من العربات والقاطرات لاستيعاب الطلب في فترات الذروة العادية ، وكذلك يجب توفير جهاز مساندة من الأطقم البشرية للتشغيل والصيانة ومكاتب عامة ومستودعات ومبيعات وخدمات قانونية وغيرها ، سواء كان الخط الحديدي ينقل ١٠ قطارات أو ٣٠ قطاراً في اليوم . والنسبة العظمى من هذه التكاليف هي تكاليف ثابتة ومستمرة بغض النظر عن حجم الشحن المنقول .

وخلافاً للناقل ذي التكاليف الثابتة ، هناك الناقل الذي تمثل تكاليفه المتغيرة النسبة العظمى من التكاليف مع نسبة قليلة من التكاليف الثابتة . ويمكن أن نذكر عملية النقل بالشاحنات مثالاً لذلك . والنقطة الأولى والأهم في ذلك أن صاحب الشاحنة لا يتحمل أي تكاليف في إنشاء حرم الطريق أو رصفياته وصيانته ، إذ تقوم الحكومة عادة بذلك . وبالطبع ، فإنه يساهم في تلك التكاليف إسهاماً غير مباشر من خلال الضرائب التي تفرضها الحكومة على الوقود والإطارات . ولا تحدث تلك التكاليف إلا إذا تم تشغيل الشاحنة . ولا يحتاج صاحب الشاحنة ، عادة ، لإنشاء محطة وقود أو صيانة خاصة به على جانب الطريق الذي يعمل على طوله ، إذ تقوم محطات الوقود وورش الصيانة العامة بتوفير تلك الخدمة . كما أن الحجم الصغير لوحدة التشغيل أو الشاحنة يساعد على استخدام العدد المناسب من الشاحنات لنقل حمولة معينة من الشحن ، بل إن بعض مشغلي الشاحنات لا يملكون شاحنات ولكنهم يستأجرونها ، وبالتالي ، يستطيعون تحقيق أقصى تأقلم مع حجم الشحن . ولا تحتاج عمليات الشاحنات إلى أنظمة إشارات أو اتصالات متطورة ومكلفة . وحتى عندما تستخدم أنظمة اتصال ، فإنها عادة ما تكون على شكل خطوط هاتفية أو لاسلكية مستأجرة . كما أن محطات الشاحنات تكون عادة ، بسيطة وغير مكلفة ، وكذلك الحال في الأجهزة الإدارية المساندة ، أيضاً . وهناك بعض التكاليف الثابتة التي تشمل المصاريف الإدارية وتكاليف المحاسبة والدعاية والإعلان وبعض الاستثمارات في محطات الشحن وصيانتها وتكاليف الورش والمركبات . وفي قليل من شركات النقل بالشاحنات ، تكون هذه التجهيزات ضخمة وواسعة وبالتالي ، تشكل تكاليفها الثابتة نسبة أعلى من المعتاد ، ولكن ، بالنسبة لشركة عادية للنقل بالشاحنات ، فقد قدر أن نسبة التكاليف الثابتة لا تتجاوز ١٠٪ من تكاليفها الإجمالية والباقي (٩٠٪) هي تكاليف متغيرة .(١)

وتقع السيور المتحركة والعربات الهوائية المعلقة ضمن تصنيف التكاليف الثابتة ، إذ يجب إنشاء محطات وتجهيزات كاملة لعملياتها وصيانتها بغض النظر عن حجم النقل . أما عمليات النقل بالصنادل وشركات الطيران

---

(١) C. A. Taff, Commercial Motor Transportation, Richard D. Irwin, Homewood, Illinois, 1955.

الصغيرة والحافلات فتعدُّ وسائل نقل ذوات تكاليف متغيرة شبيهة بالشاحنات. وتعد شركات النقل بالسفن أو الطائرات الضخمة ضمن مجموعة متوسطة من المجموعتين ، فهي قد تصنف ناقلاً ذي تكاليف متغيرة من حيث عدم تحملها مسؤوليات مباشرة لإنشاء طرقها أو صيانتها أو إنشاء المرافق الضخمة لمحطاتها. ولكن، في الجانب الآخر، فإن التكاليف الباهظة - حتى لباخرة أو طائرة واحدة - تتطلب استثمارات أساسية وتكاليف تشغيلية طائلة بغض النظر عما إذا كانت الباخرة أو الطائرة تعمل بكامل سعتها أم فارغة.

ويبين الجدول (٣ , ١٢) محاولة المؤلف تلخيص هذه الخاصية التقنية - الاقتصادية لوسائل النقل المختلفة بناء على دراساته وتقديراته.

الجدول (١٢,٣): النسبة المئوية لتكاليف التشغيل المتغيرة مع حجم النقل.

الناقل	نسبة التكاليف المتغيرة	نسبة التكاليف الثابتة
السكك الحديدية	٢٥-٥٠	٥٠-٧٥
الشاحنات	٨٠-٩٠	١٠-٢٠
الحافلات	٨٠-٩٠	١٠-٢٠
الطائرات	١٠-٥٠	٥٠-٩٠
خطوط الأنابيب	٣٠-٤٠	٦٠-٧٠
الصنادل النهرية	٥٠-٧٠	٣٠-٥٠
سفن البحيرات العظمى	٥٠-٧٠	٣٠-٥٠
السيور المتحركة	٢٠-٣٠	٧٠-٨٠
العربات الهوائية المعلقة	٢٠-٣٠	٧٠-٨٠

وعادة ما يُصنّفُ الناقلون الذين يستخدمون مركبات من النوع المنفرد ناقلين ذوي تكاليف متغيرة. أما الآخرون الذين يستعملون مركبات من وحدات مجمعة أو جريان متصل ، فإن النسبة العظمى من تكاليفها جميعها تقريباً تكون دون أي اختلاف تكاليف ثابتة. كما أن الأحرى بالناقلين الذين يستخدمون وحدات قليلة السعة أن تكون تكاليفهم المتغيرة أكبر كثيراً من الذين يستخدمون وحدات عالية السعة ، إذ إن الوحدة القليلة السعة أكثر تجاوباً مع التذبذب في حجم الشحن. وعلى أي حال، فإن العامل الذي يقرر، عادة، نوع الناقل للتكاليف هو مدى التزام الناقل بتوفير الطريق والمنشآت من عدمه. إذ يمكن أن يكون الفرق بين الناقل ذي التكاليف الثابتة والآخر ذي التكاليف المتغيرة هو في مسألة ملكية التجهيزات والمرافق الثابتة. إذ لو كانت ملكية الطريق وعمليات النقل بالشاحنات هي لجهة واحدة ، فإن عملية النقل بالشاحنات ستتحول إلى صنف التكاليف الثابتة بالكامل. ولو كانت الحكومة تملك جميع السكك الحديدية ومرافقها ومنشآتها ، فإن شركات النقل على السكك الحديدية ستصبح - بشكل أو بآخر - من صنف الناقلين ذوي التكاليف المتغيرة.

تكلفة الوحدة ومتوسط التكلفة Unit vs. Average Costs. إن الفرق بين التكاليف الإجمالية وتكلفة الوحدة أمر بديهي ، ولكن تكلفة الوحدة تؤخذ ـ أحيانا ـ على أنها متوسط التكلفة ، أي التكاليف الإجمالية مقسومة على عدد الوحدات المنتجة . وقد يستخدم هذا الأسلوب بوصفه طريقة تقريبية ولكن استخدامها قد يعطي نتائج ذات دلالات خاطئة . فبالرجوع إلى الشكل (١٢-١ أ)، نرى أن تكلفة شحن حجم معين من الطلب ، D_1، محسوبة على أساس متوسط التكلفة هي حاصل قسمة التكلفة الإجمالية على عدد الوحدات المشحونة الممثلة بالرمز D_1، أي $[OD_1 + OA]$. وعندما يكون حجم الطلب هو D_2 ، فإن متوسط التكلفة سيكون $[OD_2 + OB]$. ولكن دالة التكلفة الإجمالية لن تكون خطية بسبب ما يعرف باقتصاديات الإنتاج بكميات كبيرة ، بل ستكون على شكل منحنى قطع ناقص بحيث تعطي تكلفة قدرها OC لحجم الطلب D_2، ولذا ، فإن حساب متوسط التكلفة على أساس التكلفة OB سيبالغ في تقديرها بمقدار يعادل الفرق بين ذلك وتقديرها على أساس OC .

ومن عيوب استخدام متوسط التكلفة أنه يحجب الاختلافات في التكاليف المنفردة ، وقد يكون ذلك عاملاً مهماً ، فمثلاً، لن يعطي حساب متوسط التكلفة لشحنة مستعجلة مرتفعة التكاليف مع شحن سائب من الحصى أو الحبوب التي تكون ، عادة ، منخفضة التكلفة مؤشراً حقيقياً لتكاليف نقل أي منهما .

السعة الفائضة وتأثيرها على التعرفة Excess Capacity and Effect on Rates. تعد السعة الفائضة أو غير المستغلة صفة ملازمة للتكاليف الثابتة . فعندما تتشكل شركة نقل جديدة من نوع التكاليف الثابتة ، فمن الأرجح أن تظل ولفترة معينة بعد إنشائها ـ تملك سعة فائضة عن المستخدم فعلياً . وكذلك ، فإن غرف التخزين في السفينة قد لا تكون دائماً ممتلئة مما يتطلب قيامها بجزء من رحلتها بالصابورة ، فقط . كما أن ضخ الشحنات عبر خط الأنابيب لا يكون دائماً بكامل سعة الأنبوب . وفي النقل بالسكك الحديدية ، قد تكون للسكك قابلية لاستيعاب عدد أكبر من القطارات ، والقاطرات قادرة على جر عدد أكبر من العربات في القطار الواحد ، والعربات قابلة لاستيعاب شحنات أكبر . وأيضاً ، يمكن تحريك عدد أكبر من العربات الحديدية عبر ساحات الفرز .

وإذا كانت التكاليف الإجمالية ثابتة فمن البديهي أنه كلما زادت حركة النقل قلت تكلفة الوحدة . وسيتم الوصول إلى أقل قيمة لتكلفة الوحدة – في الأقل بالنسبة للجزء الخاص بالتكاليف الثابتة – عندما يتم الوصول إلى السعة القصوى للنظام . ومن الثابت ، أيضاً ، أن التكاليف الثابتة والسعة الفائضة توجد في مستويات ومراحل عديدة من تطور شركة النقل ونموها . لذا قد تجد شركة سكك حديدية أن خطها الحديدي الأول بلغ سعته القصوى ، وأي زيادة في حجم الحركة لا تؤدي إلى خفض التكاليف بل إلى رفعها نظراً للتأخيرات والتداخلات التي تحدث عند زيادة عدد القطارات . وقد يصل خط أنابيب إلى مرحلة الضخ بكامل السعة القصوى للخط والمضخات . وعند الوصول إلى هذه المرحلة ، فقد تلجأ شركة سكة الحديد لإضافة نظام تحكم مركزي في العمليات على خطها المفرد أو إنشاء خط حديدي آخر ، مما يرفع من سعتها القصوى إلى مستوى جديد . وبالمثل ، فقد تركّب شركة خط الأنابيب مضخات أقوى أو تضيف خطاً آخر من الأنابيب . ومرة أخرى ، فإن ذلك يؤدي إلى الوصول إلى مستوى جديد أو مرحلة جديدة من السعة والتكاليف والنمو . انظر الشكل (١٢،١ ب) . وهذا التسلسل في

الأحداث هو الذي حدى ببعض الباحثين ، مثل السيد كلارك،[٢] إلى القول بإن ٩٠٪ من تكاليف أي ناقل هي، فعلياً، تكاليف متغيرة. وعلى المدى البعيد، ومن وجهة النظر هذه، فإن هذا القول صحيح ، ولكن على المديين القصير والمتوسط ولأي مستوى معين من السعة ، أي عندما لا يكون هناك فائض في السعة، فإن مفهوم الناقل ذي التكاليف الثابتة يبقى قائماً.

وفي حالة وسيلة النقل ذات التكاليف الإجمالية الثابتة والتي تكون فيها وحدة الإيراد ثابتة كما في نظام النقل العام الذي تكون تعرفته ثابتة (أجرة الركوب)، فإن تكلفة الوحدة ستنخفض كلما زاد حجم الإركاب حتى تصل إلى نقطة معينة تتحقق عندها السعة أو يتم تجاوزها. وبعد تلك النقطة، فإن التأخير والازدحام سيزيدان من تكلفة الوحدة تدريجياً حتى تتجاوز قيمتها قيمة إيراد الوحدة أو التعرفة الثابتة ، وبالتالي، تحدث الخسارة. كما أن زيادة التكاليف نتيجة التضخم سيكون له الأثر نفسه. انظر الشكل (٢, ١٢ أ).

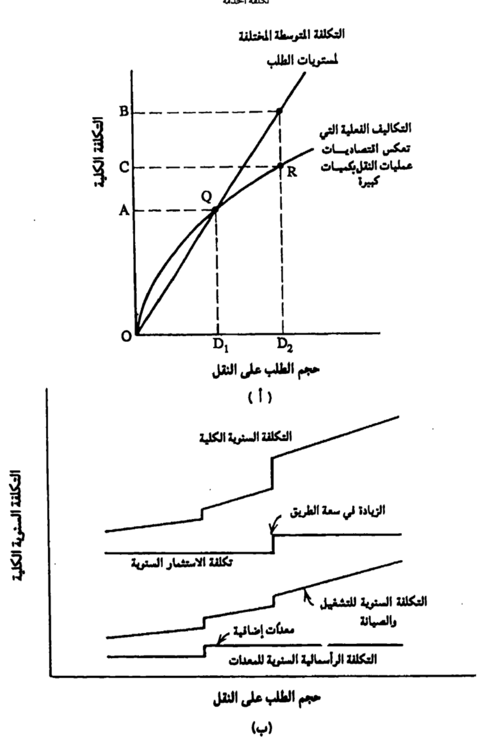
وفي حالة عدم وجود تكاليف أو مصاريف متغيرة (أي جميع التكاليف ثابتة) فإن تكلفة الوحدة ستتغير تغيراً عكسياً مع حجم حركة النقل ، أي تزيد كلما قلت الحركة وتقل كلما زادت الحركة. وفي هذه الحالة، يمكن تحديد السعر لبعض الوحدات بحيث تكون أقل من المتوسط الإجمالي لتكلفة التشغيل (ولكن أكبر من التكاليف النقدية المباشرة) لأن الإيراد الذي يُحصل عليه سيساعد على تغطية جزء من التكاليف الثابتة. ولا يوجد - فعلياً - نوع من الناقلين يقع بأكمله ضمن تصنيف التكاليف الثابتة بنسبة ١٠٠٪ ، بالرغم من أن النقل عبر خطوط الأنابيب أو بالسيور المتحركة يكاد يكون قريباً من ذلك. انظر الشكل (٢, ١٢ ب). وكما ذكرنا سابقاً، فإن الزيادة في الحركة بسبب انخفاض التعرفة قد يؤدي إلى تجاوز سعة النظام ، في حين تكون التكاليف أكبر من الإيرادات.

وعندما تكون جميع التكاليف متغيرة (أي لا توجد تكاليف ثابتة) فإن المصاريف ستزيد بزيادة الحركة وتنخفض بانخفاضها ، وتظل تكلفة الوحدة تقريباً ثابتة. وفي تلك الظروف، فإن التعرفة أو سعر الخدمة يجب أن لا يقل بحال من الأحوال عن تكلفة الوحدة ، في الأقل، في الفترات الزمنية الطويلة نسبياً ، إذا كان الناقل يرغب أن يبقى في حالة مالية جيدة ويستمر في العمل. وتعدّ عمليات الشاحنات والحافلات والنقل الجوي ، أي الناقلين على أساس الوحدة بسعة قليلة أو محدودة ، هي الأقرب لهذا الصنف. انظر الشكل (٢, ١٢ ب).

وهناك مجموعة ثالثة ممكنة من الناقلين يكون الجزء الأكبر من تكاليفهم تكاليف متغيرة، ولكن نسبة لا بأس بها من التكاليف ثابتة. وفي هذه الحالة تُحدّد قيم بعض التعرفات تحديداً أكبر بكثير من تكلفة الخدمة ، وذلك للمستخدمين القادرين على دفع التعرفة العالية ، ولكن المنقولات التي لا يمكن جذبها عند التعرفة العالية يتم تخفيض التسعيرة لها إلى مقدار أقل. وهذه الممارسة شبيهة بتصدير الفائض من السلع إلى أسواق أجنبية بأسعار زهيدة. كما أن التعرفات المنخفضة للطاقة الكهربائية خارج وقت الذروة والأسعار المخفضة للمنتجات السياحية في غير المواسم السياحية ، وكذلك التعرفات المنخفضة التي تعرضها شركات النقل بالشاحنات للعقود والنقل الخاص ، كلها مبنية على القاعدة نفسها. وهذا الوضع ينطبق على جميع أنماط النقل بشكل أو بآخر ولكنه ينطبق على شركات السكك الحديدية وخطوط الأنابيب والسيور المتحركة والبواخر العملاقة انطباقاً أخص.

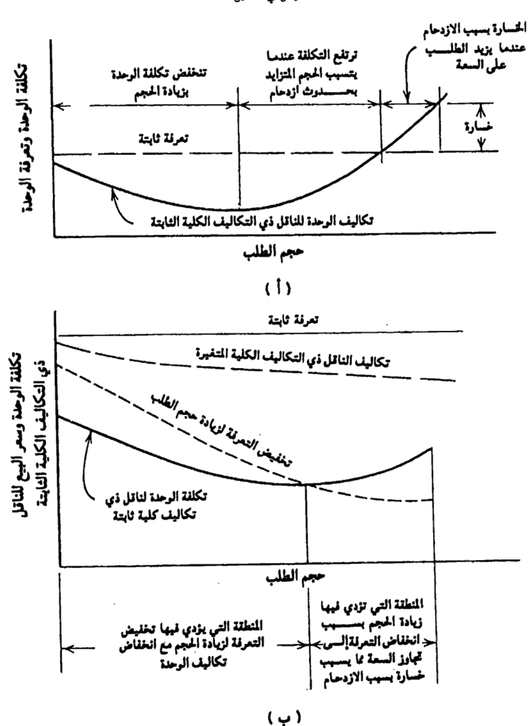
---

(٢) J. M. Clark, Studies in the Economics of Overhead Costs, University of Chicago Press, Chicago, Illinois, 1923, p. 268.



(أ) تكلفة الوحدة مقابل التكلفة المتوسطة . (ب) مقارنة بين التأثيرات على المديين القريب والبعيد.

الشكل (١٢,١). علاقات التكلفة الكلية.



(أ) ازدياد الطلب مقابل التعرفة الثابتة. (ب) تأثير تخفيض التعرفة لزيادة الطلب.

الشكل (١٢,٢). التأثير التزايدي لحجم الطلب على تكاليف الوحدة للناقلين ذوي التكاليف الثابتة وذوي التكاليف المتغيرة.

وعلى عكس صناعة إنتاج السلع المختلفة، فإن صناعة النقل تمتاز بأن سلعة النقل المنتجة لا يمكن تخزينها. إذ إن خدمة النقل التي تنتجها مركبة تتحرك في طريقها إما أن تستغل في نقل حمولة وإما أن تضيع إلى الأبد. ولذا، فإنه يتعين على شركات النقل تشغيل عملياتها ومركباتها بسعتها القصوى كلما كان ذلك ممكناً.

ومن وجهة نظر أخرى مختلفة قليلاً، يمكن للمرء أن يفترض وجود حالة يكون فيها حجم كاف من الحركة لتغطية التكاليف الثابتة للمرافق والمعدات، وكذلك التكاليف المباشرة أو النقدية لعملية النقل الفعلية للحركة المتوافرة. ولكن بإمكان الناقل زيادة دخله إذا استغل كامل السعة. لذا، فإن الناقل يحاول اجتذاب حركة كافية لملء تلك السعة. ولأن الحركة الحالية تغطي التكاليف الفعلية، فإن الناقل لن يشعر بأنه مضطر لفرض التعرفة المرتفعة نفسها التي يحصل عليها من الحركة التي يقوم حالياً بنقلها. ومن البديهي أن التعرفات الحالية قد اجتذبت جميع الحركة التي يمكن اجتذابها عند تلك التعرفات. ومع ذلك، فإن تخفيض التعرفة ربما يجذب نوعاً آخر من الحركة للذين لا يستطيعون دفع التعرفة العالية. وسيكون الناقل مستعداً لفرض أية تعرفة تغطي تكاليفه النقدية أو المباشرة وتحقق له مقداراً بسيطاً من الربح. وفي الواقع، حتى إذا كان حجم الحركة الحالي بتعرفاته غير قادر على تغطية جميع التكاليف الثابتة، فقد يقبل الناقل تخفيض تعرفته على الحركة الإضافية إذا كانت ستؤدي إلى جذب مزيد من الحركة مع تغطية التكاليف المباشرة وتحقيق بعض المساهمة في تغطية التكاليف الثابتة، ولا يمكن القيام بمثل تلك الإجراءات في أمان إلا بعد الأخذ بالاعتبار تأثيرات ذلك على الحركة في أجزاء النظام الأخرى.

تأثيرات التكلفة على المنافسة Effects of Cost on Competition. إذا استغلت القدرة على تحديد التعرفات إلى أقصى درجة، فإن الناقل ذا السعة الفائضة يمكن أن يتبنى نظام تحديد للتعرفة كالتالي:

١ - تعرفة عالية للسلع القادرة على دفع السعر العالي والتي ستشحن بوساطة هذا النوع من الناقلين على أية حال.

٢ - قيم أقل من التعرفة للشحنات التي لا تقدر على دفع التعرفة العالية (أو التي يمكنها أن تجد خدمة مناسبة بتعرفة أقل)، ولكنها مستعدة لاستخدام هذا الناقل لو قام بعرض تعرفة أقل.

٣ - عدد من التسعيرات المتتابعة (التي تكون متعددة أحياناً إلى درجة وجود تسعيرة لكل نوع من السلع) التي تهدف لجذب الشحنات على مستويات من القدرة أو الاستعداد للدفع. والقيد الوحيد هنا هو أن تغطي التعرفة التكاليف النقدية المباشرة وتساهم ولو بنسبة ضئيلة بتغطية التكاليف الثابتة وتحقيق ربح إن أمكن.

وبالتالي، فإن الناقل الذي تكون تكلفته الإجمالية متغيرة قد يجد نفسه في وضع لا يسمح له بالمنافسة. إذ إن نسبة تكاليفه الثابتة صغيرة جداً مما يعطيه مرونة ضئيلة في تحديد التسعيرة. وكما شرحنا سابقاً، فإن تكلفة الوحدة (وبالتالي، سعر بيع الوحدة أو التعرفة للوحدة) ستظل تقريباً ثابتة. وتظل تكلفة الوحدة هي نفسها بغض النظر عن حجم الشحن المنقول لأن التكاليف الإجمالية تتناسب تناسباً طردياً مع حجم الشحن. ويمكن للناقل الذي تكون تكاليفه الإجمالية من النوع الثابت والذي تتوافر لديه سعة فائضة كبيرة أن يخفض من تسعيراتها تخفيضاً كبيراً جداً (ولكن مع تغطية تكاليفه) من أجل أن يجبر منافسيه على ترك الميدان له لنقل نوع معين من الشحن أو حتى لإجبارهم على الخروج من صناعة النقل تماماً والإفلاس. وقد يتعمّد ناقل قوي أن يضع تسعيرة أقل من التكلفة لفترة من الزمن للغرض نفسه، وهذه الممارسة تسمى «منافسة قطع الحنجرة».

ويجب ـ عند إنشاء نظام نقل خاص ـ أن تؤخذ هذه القواعد والممارسات نفسها بعين الاعتبار. إذ يجب اختيار نظام نقل ذي تكاليف ثابتة ، فقط ، عندما يتوقع أن يكون هناك حجم كبير من الحركة ، وذلك للحصول على تكلفة منخفضة للوحدة. وعندما يكون حجم الحركة صغيراً فقد يكون من المناسب اختيار نظام نقل ذي تكاليف متغيرة، فقط ، وذلك لتحجيم التكاليف الإدارية المرتفعة عندما لا يعمل النظام بكامل سعته.

التكاليف والتدخل الحكومي Costs Versus Regulation. تتدخل الهيئات الحكومية المسؤولة عن تنظيم النقل في طريقة حساب التعرفة تدخلاً رئيساً بدافع الخوف من إمكانية لجوء بعض الناقلين إلى ممارسة المنافسة غير الشريفة أو «قطع الحنجرة» ، وذلك عن طريق تقييد حرية الناقلين ذوي التكاليف الثابتة ومنعهم من استغلال قدراتهم الذاتية لتخفيض تسعيراتهم. وتدرك تلك الهيئات التنظيمية أهمية تكلفة الخدمة كعامل حاسم ، ولكنها تُعرّف تكلفة الخدمة بأنها متوسط تكلفة الوحدة لجميع أنواع السلع والشحن وأصنافها، وتشترط أن يكون إيراد كل طن- ميل من الشحن ليس قادراً على تغطية التكاليف المباشرة فحسب بل يجب، أيضاً، أن يتحمل نسبة من التكاليف غير المباشرة والإدارية والثابتة. وهذا التنظيم يقيد الناقل ذا التكاليف الثابتة بسعة فائضة ويحد من قدرته على استعمال سلاحه الفتاك في المنافسة. ولكن، كما هو متوقع، فإن تلك السياسة تلقى جدلاً ساخناً ومعارضة خصوصاً من شركات السكك الحديدية التي تشعر بأنها هي الخاسر الرئيس. وبالمقابل، فإن علماء الاقتصاد عموماً، يفضلون أسلوب التسعير على أساس التكلفة الهامشية أو الحديّة.

التسعير التفاضلي Differential Pricing. في ظروف المنافسة الحقيقية، تقترب التعرفة من التكلفة الفعلية للخدمة ، وقد رأينا في الفقرات السابقة كيف ينخفض متوسط تكلفة الخدمة للناقل ذي التكاليف الثابتة كلما زاد حجم الشحن وبالعكس. فمن جانب، لا يستطيع الناقل أن ينقل الشحنات بخسارة ، أي بتعرفة أقل من تكلفة الخدمة ، ومن الجانب الآخر، فإن ضغوط المنافسة لا تسمح برفع التعرفة كثيراً عن تكلفة الخدمة.

وعندما لا تتوافر ظروف المنافسة الحقيقية، فإن من المرجح ظهور التسعير التفاضلي. ويبرز التداخل في المنافسة في عدد من الحالات.

الاحتكار Monopoly. يمكن أن يبرز التسعير الاحتكاري عندما يكون الطلب على الخدمة غير مرن ، أي أن المستخدم مضطر لاستخدام الخدمة مهما كان السعر. أما في الطلب المرن فإن الناقل يجب أن يتنافس مع ناقلين آخرين من حيث التعرفة ومستوى الخدمة ، وذلك للاحتفاظ بحصته أو اجتذاب مزيد من العملاء الذين يمكن أن ينصرفوا لاستخدام خدمات ناقل آخر تكون تعرفته وخدمته أكثر إغراء أو قد يلغوا القيام بالرحلة تماماً. وعندما يكون هناك احتكار كامل أو جزئي يحدث توجه لاستغلال ذلك بفرض تعرفة أكبر كثيراً من تكلفة الخدمة ، بالرغم من وجود حدود لذلك من أجل تحقيق الربحية. وحتى عندما توجد هناك منافسة، تبرز ظروف احتكارية. فلو كان هناك شاحن لديه سكة فرعية جانبية تربطه بشركة سكة حديدية واحدة ، فإن هذا الشاحن سيكون معتمداً على ظروف

هذا الخط الحديدي بالرغم من امتلاكه لحق تسيير بضاعته على سكك حديدية أخرى لمواصلة رحلتها. إذ يمكن لشركة سكة الحديد أن تظهر تمييزاً في الخدمة من حيث سرعة الحركة والاستجابة السريعة لطلبات العملاء وخدمات مفاتيح السكك وتوزيع العربات الحديدية. وكذلك الحال بالنسبة لشاحن لا تتوافر له إلا خدمات خط شاحنات واحد في مدينته ، فإنه سيكون رهينة لذلك الناقل. ويتمتع خط الشاحنات الذي يملك مخزناً للبضائع يقع في مكان متوسط من مصادر الشحن بميزة احتكارية مقارنة بناقل آخر يقع في منطقة نائية. وبسبب كثرة الناقلين والتنافس بينهم في هذه الأيام، فقلما يوجد احتكار حقيقي ، ولكن معظمهم يسيطر على مناطق معينة مما يوفر لهم أجواء احتكارية.

الإعانات الحكومية Government Subsidies. تعمل الإعانات الحكومية على إعاقة المنافسة الحقيقية عن طريق تحييد مزايا تكلفة الخدمة للناقلين أو عيوبها. فإنشاء الطرق البرية والطرق الجوية وطرق ملاحة السفن ومنح الأراضي لحرم الطريق ومساعدة شركات الطيران مالياً لسد العجز في ميزانياتها كلها من صور إعانة الحكومة للناقلين والتي تؤثر، بدورها، على تكلفة قيام الناقل بتوفير الخدمة. وتؤدي الإعانات الحكومية بإنشاء الطرق البرية والممرات المائية والطرق الجوية والمطارات إلى جعل الناقلين الذين يستخدمون تلك المرافق من النوع ذي التكاليف المتغيرة بدلاً من التكاليف الثابتة.

وقد تكون الإعانات غير مقصودة ومختفية أحياناً ، فإذا كانت تعرفة سلعة معينة أقل من تكلفة نقلها ، فإن هذه السلعة - فعلياً - تتلقى إعانة من تعرفة السلع الأخرى المنقولة. كما تغطى خسائر نقل الركاب بين المدن في السكك الحديدية عن طريق رفع تعرفة نقل البضائع.

التكاليف المشتركة والعامة Joint and Common Costs. قد تؤثر التكاليف المشتركة التي سبق تعريفها على تكاليف الخدمة، أيضاً، وتؤدي إلى التسعير التفاضلي. إذ يوجد دائماً توجه لقيام الخدمة الأقوى والأكثر رواجاً بتغطية تكاليف الخدمات الأخرى المشتركة معها مما قد يحجب، أحياناً، التكاليف الحقيقية المنصرفة.

العمليات الخاصة Private Operation. إن الملكية الخاصة للنقل توفر، من وجهة نظر التكاليف الإجمالية، مزايا عديدة للصناعات التي تملك تجهيزات لنقل منتجاتها الخاصة ، إذ تمتاز بعدم وجود حاجة لاعتبار عنصر الربح في حساب التكاليف ولا تخضع عملياتها لأنظمة التنظيم الحكومي وقيوده، كما يمكن تفصيل حجم العمليات حسب احتياجات الصناعة التي تخدمها. ولكن، عندما يتم تنظيم خدمة النقل الخاص كشركة منفصلة تقدم خدماتها لأكثر من وحدة من وحدات الشركات الضخمة ، أو عندما تقوم بالشراء الاسمي للسلع التي تنقلها ثم تقوم بإعادة بيعها عند توصيلها ، أو عندما تقوم بنقل بضائع لمالكي الشركة من الصناعات الأخرى، يبرز سؤال عند أي من تلك الحالات عما إذا كانت شركة النقل هذه تمارس - فعلياً - خدمات النقل التعاقدية أو حتى العامة ، وبالتالي، خضوعها للتنظيم الحكومي، ولاتزال هذه المشكلة قائمة.

تأثير طلب الذروة Peak Demand Effects. هناك بعض أنواع النقل التي يتركز فيها الطلب في فترات ذروة معينة ويزداد فيها ازدياداً حاداً مثل شركات النقل العام داخل المدن سواء بالقطارات أو بالحافلات. وقد يواجه هؤلاء صعوبات حرجة في التكاليف خصوصاً شركات النقل العام بالقطارات التي تتحمل تكاليف إجمالية عالية من التكاليف الثابتة. وعلى المدى القصير، قد تحقق شركات النقل العام داخل المدن خفضاً في تكلفة الوحدة كلما زاد حجم الحركة. ولكن قد ينمو حجم الطلب كثيراً حتى يتجاوز سعة نظام النقل مما يسبّب ارتفاع تكلفة الوحدة مرة أخرى كما هو واضح في انعكاس منحنى تكلفة الوحدة إلى أعلى في الشكل (٢ , ١٢). ويصبح من اللازم زيادة السعة، مثلاً، عن طريق زيادة عدد الحافلات أو زيادة عدد عربات القطارات السريعة أو إضافة سكك أخرى أو تحسين نظام الإشارات، وذلك لتلبية الزيادة في الطلب.

وعادة ما تنشأ مثل هذه الحاجة لزيادة السعة من حركة الركاب من الموظفين والعاملين خلال فترات الذروة، والتي تحدث عادة في الصباح عند توجه الموظفين لأعمالهم وبعد الظهر عند خروجهم من أعمالهم. وتتطلب فترات الذروة هذه (التي قد تمتد مدة ٤ ساعات في اليوم، فقط) طاقة استيعابية كبيرة وسعة عالية، ولكن، نظراً لانخفاض الطلب خلال ساعات عدم الذروة، فإن معظم هذه السعة الكبيرة ستظل معطلة وغير مستغلة ولا تحقق أي إيرادات بل تستهلك مصاريف للصيانة ومصاريف تمويل وتمتد فترة ٢٠ ساعة في اليوم.

ولو تم تحديد تعرفة «متوسطة» خلال اليوم فإن ركاب فترة الذروة سيدفعون أقل مما يجب، في حين أن ركاب فترات عدم الذروة سيدفعون أكثر مما يجب. ومن المحتمل أن لا تتمكن شركة النقل من تغطية جميع التكاليف من إيرادات الإركاب. ولو تم تحديد تعرفة واحدة مرتفعة لدرجة كافية لتغطية جميع تكاليف فترة الذروة، فإن ركاب فترات عدم الذروة لا يزالون يدفعون ثمن السعة الزائدة عن حاجتهم، وفعلياً، فهم يدفعون إعانات لركاب فترة الذروة في كلتا الحالتين.

وقد جرى تجريب تطبيق عدد من الحلول أو اقتراحه يشمل:

١ - تحديد تعرفة «متوسطة» بمستوى واحد خلال اليوم مع قيام الحكومة بتغطية العجز عن طريق الإعانات، وهذا الحل مطبق كثيراً.

٢ - تحديد مستوى واحد من التعرفة العالية تحديدا كافياً لتغطية جميع التكاليف. وكما ذكرنا، فإن ركاب فترات عدم الذروة سيدفعون أكثر مما ينبغي، كما أن ارتفاع التعرفة يدفع عدداً من الركاب لترك استخدام هذه الخدمة والبحث عن بديل أرخص.

٣ - تحديد تعرفة ذات مستويين واحدة لفترة الذروة والأخرى لبقية اليوم، وهذا الحل أكثر عدلاً من الحلول المذكورة سابقاً ولكنه يواجه صعوبات في كيفية تحصيل الأجرة وإدارتها.

٤ - جعل الخدمة مجانية بحيث تتحمل الحكومة جميع التكاليف.

وهناك عدة مبررات يستشهد بها أولئك الذين يؤيدون قيام الحكومة بدفع إعانات جزئية أو كاملة (أي خدمة مجانية) لخدمات نقل الركاب داخل المدن تشمل:

(أ) إن الدعم الحكومي لأنظمة النقل العام يقلل من الحاجة لبناء مزيد من الطرق السريعة ومواقف السيارات.

(ب) إن الدعم الحكومي جزء من تكاليف التنمية لنقل العمال والموظفين وغيرهم إلى منطقة وسط المدينة التجاري الذي يعود بالفائدة على المجتمع .

(جـ) يجب توفير وسائل نقل لأولئك الذين لا يستطيعون استعمال السيارة مثل كبار السن والأطفال والمعاقين والفقراء .

(د) يجب اللجوء للنقل العام كوسيلة لترشيد استخدام الطاقة والتقليل من التلوث .

(هـ) النقل خدمة من ضمن خدمات البلدية التي يجب أن تدعمها الحكومة وتوفرها للجميع شأنها في ذلك شأن إنارة الشوارع وخدمات الشرطة والدفاع المدني .

أما أهم وجهات النظر التي تعارض الدعم الحكومي للنقل العام للركاب داخل المدن فتستند إلى المفهوم التقليدي القائل بأن المستعمل المباشر والمستفيد من النقل هو الذي يجب أن يدفع التكاليف .

ويمكن تعميم المناقشة السابقة من حيث طبيعة المشكلة ومزايا الحلول المقترحة وعيوبها إلى النقل العام للركاب بين المدن ، وكذلك شحن البضائع بين المدن ، وذلك دون صعوبات تذكر .

التدخل الحكومي Governmental Regulation. يوجه التدخل الحكومي أساساً نحو تحديد تعرفة النقل ، وذلك في محاولة منع حدوث المنافسة غير الشريفة أو «منافسة قطع الحنجرة» بين الناقلين ، وكذلك منع التمييز بين الأشخاص أو المناطق أو البضائع .

وتنظّم الهيئات الحكومية المعنية النقل بفرض تعرفات على أسس أخرى غير أساس تكلفة الخدمة ، وذلك لأسباب مختلفة منها : مساعدة المناطق النائية وتوفير خدمة النقل لها بتعرفة معقولة ، أو لمساعدة الصناعات المهمة أو الناشئة ، أو لتشجيع أنماط جديدة من النقل ، أو للمساواة في الوضع التنافسي للناقلين أو للسلع أو للمناطق المختلفة .

مكونات التعرفة Composition of Rate. من وجهة نظر تكلفة الخدمة ، فإن التعرفة عادة ما تحتوي على عنصرين رئيسين : العنصر الأول الواضح هو تكلفة خدمة النقل على الخط والذي يشمل تكاليف توفير خط الخدمة والمعدات لنقل البضائع من مكان لآخر وصيانتها . أما العنصر الثاني فهو تكلفة الخدمة في المحطات والذي يشمل تكاليف استخدام مخازن البضائع أو صهاريج التخزين أو عمليات سقائف الشحن العابر ، وتكاليف فرز العربات الحديدية في الساحات وترتيبها ، وتكاليف توصيل العربات والشحنات التي تقل عن حمولة عربة كاملة إلى وجهتها النهائية ، وتكاليف القيام بتوفير تسهيلات الركاب في المحطات وبيع التذاكر وخلافه . وهناك خدمات إضافية يجب إضافة تكلفتها عند الحاجة إليها مثل تبديل العربات بوساطة ناقلين آخرين ، وخدمة زوارق القطر عند رسو السفن ، وخدمة نقل المسافرين من المدينة إلى المطار وبالعكس . كما أن هناك خدمات أخرى معينة يمكن أن تشتمل عليها تعرفة النقل على الخط والتي تنعكس حسب مقدارها مثل عملية تثليج العربات الحديدية المبردة والامتيازات والخدمات التي تقدم أثناء التبديل من مركبة لأخرى . ويجب ملاحظة أن تكاليف المحطات هي تكاليف ثابتة لأية شحنة معينة بغض النظر عن طول رحلتها على الخط . ويعد تقليل تكاليف المحطات إلى أقل حد ممكن ضرورياً لاقتصادية عملية النقل .

إن موضوع التعرفة وتسعير خدمات النقل موضوع معقد وتختلف فيه وجهات النظر والآراء. ولا يسمح لنا نطاق هذا الكتاب إلا بالتطرق للجوانب الواضحة من هذا الموضوع والتي قدمناها في هذا الفصل.

أسئلة للدراسة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - ما أهمية تكلفة الخدمة باعتبارها أساساً لتسعير خدمات النقل مقارنة بالمعايير الأخرى؟

٢ - فرّق بين التكاليف الرأسمالية والمصاريف التشغيلية وبين التكاليف الثابتة والمتغيرة وبين التكاليف على المدى القصير وعلى المدى البعيد.

٣ - ما العوامل التي تجعل من شركة نقل ناقلاً ذا تكاليف إجمالية «ثابتة» أو ناقلاً ذا تكاليف إجمالية «متغيرة»؟

٤ - اشرح - بتوسع - مفهوم «السعة الفائضة» وبيّن علاقة ذلك مع التكاليف الثابتة والمتغيرة.

٥ - اشرح هذه العبارة: «يعمل مفهوم التكلفة الثابتة والمتغيرة على إدخال أخطار من جراء استخدام متوسط التكاليف».

٦ - تستطيع شركة سكة حديد نقل ٥٠٠٠ طن صاف في اليوم على خطها الحديدي البالغ طوله ٧٠٠ ميل، وذلك بتكلفة إجمالية قدرها سنت واحد لكل طنّ صاف - ميل، بافتراض أن ٥٠٪ من التكاليف هي تكاليف متغيرة، ارسم بيانياً قيم تكلفة الوحدة عند نقل ١٠٠٠٠، و١٥٠٠٠، و٢٠٠٠٠ طن على الخط نفسه.

٧ - تنقل شركة نقل بالشاحنات ٤٠٠ طن من البضائع في اليوم على خط معين بتكلفة ٤ سنتات لكل طن صاف - ميل، كم ستكون التكلفة لكل طن صاف - ميل عند نقل ٦٠٠ طن صاف على الخط نفسه؟ وعند نقل ٢٠٠ طن صاف؟

٨ - ما الحالات التي يمكّن أن تؤدي إلى تأثر التعرفة بعوامل أخرى خلاف تكلفة الخدمة؟

٩ - كيف تؤثر خصائص الناقل من حيث التكلفة الثابتة مقابل التكلفة المتغيرة على الوضع التنافسي لكل نوع من الناقلين؟

١٠ - إلى أي مدى تهتم شركة النقل الخاصة بخاصية التكاليف الثابتة والتكاليف المتغيرة؟

قراءات مقترحة
SUGGESTED READINGS

1. J. M. Clark, *Studies in the Economics of Overhead Costs,* University of Chicago Press, Chicago, Illinois, 1923.
2. Kent T. Healy, *The Economics of Transportation in America,* The Ronald Press, New York, 1935, Chapters 10 to 13, on the cost and princing of transportation.
3. G. M. Wellington, *The Economic Theory of Railway Location,* 6th edition, Wiley, New York, 1914, Chapter V ff., on operating expenses, pp. 106-185.

4. W. W. Hay, *Railroad Engineering,* Wiley, New York, 1953, Chapters 3, 4, and 12.
5. C. A. Taff, *Commercial Motor Transportation,* 1953 edition, Richard D. Irwin, Homewood, Illinois.
6. *Surface Transportation,* Hearings before a Subcommittee on Interstate and Foreign Commerce, House of Representatives, 85th Congress, April 2, 3, 4, 5, and 11, 1957, Government Printing Office, Washington, D. C.
7. The Interstate Commerce Act, Government Printing Office, Washington, D. C.
8. The Civil Aeronautics Act and the Federal Aviation Act, Government printing Office, Washington, D. C.
9. Meyer, Peck, Stenanson and Zwick, *"The Economics of Competitionin in the Transportation Industry."* Harvard University press, Cambridge, Massachusetts, 1964.
10. Earnest C. Poole, *Costs—A Tool for Railroad Management,* Simmons-Boardman Publishing Corporation, New York, 1062.
11. W. J. Baumal et al, "The Role of Cost in the Minimum Pricing of Railroad Service", *The Journal of Business of the University of Chicago.* Vol. XXXV, No. 4, October 1962.
12. *A Guide to Railroad Cost Analysis,* Bureau of Railway Economics, Association of American Railroads, Washington, D. C., 1964.
13. *The Economic Analysis of Railroad Roadway,* An Interim Report on Development of Methodologies and Procedures, prepared for the Federal Railroad Administration Contract DOT-FR-30028 by the Bureau of Transportation Research, Southern Pacific Transportation Company, J. H. Williams, Project Head, March 1974.
14. Ann F. Friedlander, "The Dilemma of Freight Transportation Regulation", Brookings Institution, Washington, D. C. 1969.
15. Alan J. Montgomery, Staff Analyst, Association of American Railroads, "Motor Carrier versus Intermodal Costs—The Highs and the Lows", a speech presented at the National Rail Piggyback Association, January 1975.



الباب الرابع

التخطيط للاستخدام والتطوير

PLANNING FOR USE AND DEVELOPMENT



الفصل الثالث عشر

تخطيط النقل: غاياته وعملياته

TRANSPORTATION PLANNING: GOALS AND PROCESSES

متطلبات التخطيط
PLANNING REQUISITES

يتكون تخطيط النقل من أنواع مختلفة من المسائل والإجراءات، وهذه تختلف باختلاف المستوى الذي يتم التخطيط عنده ونوع الحاجة التي يهدف التخطيط لتلبيتها. فقد يكون التخطيط هو التحديد التفصيلي لموقع طريق معين، أو اختيار ناقل يؤدي خدمات النقل لمنتجات صناعة معينة ومستلزماتها، أو قيام صناعة ما بتخطيط نظام متكامل لخدمات النقل الخاصة بها. وقد يكون التخطيط، أيضاً، خاصاً بإنشاء شبكة من الطرق السريعة أو الممرات المائية أو الطرق الجوية، وذلك لتحقيق تكامل بين وسائط النقل المختلفة في منطقة حضرية معينة، أو في حالات نادرة لتلبية الاحتياجات الوطنية الكلية من وسائط النقل المختلفة.

من الذي يقوم بالتخطيط؟ Who Does the Planning. يتم التخطيط على مستويات عديدة بوساطة هيئات مختلفة، فهناك الشركات الخاصة - سواء الشركات التي تقدم خدمات النقل أو التي تستخدمها - التي تتخذ قرارات للوفاء باحتياجاتها من النقل في غرف الاجتماعات باستخدام البيانات والبدائل التي يقترحها استشاريون، أو غالباً لجان خاصة من موظفيها أو أحد أقسام الشركة المختصة بإدارة الحركة أو الهندسة الصناعية أو تخطيط النظم. وفي هذه

الحالة، عادة ما يكون التخطيط على مستوى صغير وخاص، ولكن هناك استثناءات ملحوظة عندما تصبح الشركات الخاصة مرتبطة بمشاريع ممولة حكومياً.

أما الشركات الخاصة فإن تحقيق الربح هو الدافع الأول لأعمالها، كما أن استجابتها للاحتياجات العامة عادة ما تكون مرتبطة بتأثيرها على الأرباح، فقط، أو من خلال التزامها بمتطلبات القوانين والأنظمة الحكومية. وتكون بدائل الخطط خاضعة للتدقيق المالي خضوعا أكثر عمقاً من تلك التي تخضع لها المشاريع الحكومية غالباً. وبالرغم من ذلك، فإن جهود الشركات الخاصة لتلبية المنافسة يمكن أن تخدم المصلحة العامة.

التخطيط العام (الحكومي) Public Planning. تقوم الهيئات الحكومية المختلفة بتخطيط النقل العام ابتداءً بالحكومة الوطنية المركزية ومروراً بالإمارات والمحافظات والبلديات المحلية. وغالباً ما يقوم الاستشاريون بأداء العمل الفعلي، إلا أن بعض الأجهزة الحكومية أنشأت إدارات أو هيئات داخل هياكلها التنظيمية مسؤولة عن التخطيط.

وفي البلاد العربية، تدرس وزارات التخطيط أو النقل أو هيئات مشابهة احتياجات البلاد من شبكات النقل بجميع أنماطه، وتتعاقد مع بيوت خبرة وطنية أو أجنبية للقيام بالدراسات التخطيطية وتقديم التوصيات المناسبة. ولكن الحال يختلف في الولايات المتحدة الأمريكية، إذ إن طبيعة العلاقة بين الحكومة الاتحادية وحكومات الولايات من جهة والعلاقات المتبادلة بين الولايات من جهة أخرى، تفرض انتهاج أسلوب معين تكون فيه الحكومة الاتحادية مشرفة على التخطيط العام للنقل لضمان نجاح التنسيق بين الولايات، بينما تجرى الولايات الدراسات الخاصة بها وتتولى تنفيذها. ولكي تضمن الحكومة الاتحادية الامتثال للمخطط العام، سنّت تشريعات وقوانين تساعد حكومات الولايات على القيام بعملية التخطيط وتوفر لها حافزاً مادياً على شكل إعانات مالية مقابل امتثالها للمخطط العام. ولذا، فقد طالب قانون الإعانات الاتحادية للطرق البرية لعام ١٩٦٢ م بضرورة قيام أية منطقة حضرية يزيد عدد سكانها على ٥٠٠٠٠٠ نسمة بإجراء عملية مستمرة للتخطيط الشامل للنقل حتى يمكنها الحصول على الموافقة بإدراج أي من مشاريعها تحت بند الإعانات الاتحادية للطرق. لذلك، فإن معظم التخطيط الحديث كان موجهاً نحو الطرق البرية، وغالباً ما تكون إدارات الطرق الحكومية في الولايات هي المسؤولة عن تحديد الاحتياجات للنقل على الطرق. ويمكن لإدارات الطرق أو استشارييها الأخذ بالاعتبار النظام الحالي للطرق الاتحادية أو الطرق داخل الولاية، بالإضافة إلى التوسعات الإتحادية المستقبلية المتوقعة والقيام بإعداد تقديرات مستقبلية للنمو السكاني والزراعي والصناعي والتجاري والخروج من ذلك بخطة (أو خطط) لتحسين الطرق الحالية واقتراح إنشاء طرق جديدة لتشكيل نظام شامل للوفاء بالاحتياجات المستقبلية المتوقعة للولاية. وقد تكون إدارات النقل مسؤولة، أيضاً، عن احتياجات الولاية من السكك الحديدية والنقل الجوي والممرات المائية بالإضافة إلى الطرق. وفيما يتعلق بالمناطق الحضرية، فقد تحصر حكومة الولاية المرافق الحالية والتدفق المروري وأنماط التنقل، في حين تحصر الإدارات المحلية استخدامات الأراضي والسكان والاقتصاد المحلي وتتنبأ بذلك، وقد تقوم الإدارات المحلية بجميع مهام جمع البيانات وتحليلها أو إسنادها لاستشاري للقيام بذلك العمل.

وأما على صعيد الدول العربية فإن الحكومة المركزية تقوم بعملية التخطيط العام من خلال وزارة التخطيط أو هيئة التخطيط المركزية وما شابهه، وذلك بإعداد الخطط الخمسية للتنمية التي تحتوي على جزء خاص بمشاريع

النقل، ويتم ذلك عن طريق التنسيق الوثيق مع وزارة النقل والبلديات وغيرها من المؤسسات الحكومية المهتمة بشؤون النقل، وفور رصد الأموال اللازمة لذلك تنفّذ الوزارات المختصة المشاريع التي تقرها الحكومة.

وسنأخذ مثالاً للتخطيط على المستوى الإقليمي بالحديث عن دراسة النقل التي أجريت لمنطقة مدينة شيكاغو الأمريكية التي تعد بداية لتخطيط النقل الحديث على مستوى المنطقة. وقد بدأت هذه الدراسة في عام ١٩٥٥ م بناء على اتفاقية بين بلدية شيكاغو ومحافظة كول وحكومة ولاية إلينوي، بحيث تخصّص حكومة الولاية ٥, ١٪ من الاعتمادات المالية للتخطيط الاتحادي لهذا المشروع. وقد توسع نطاق المشروع بعد ذلك ليشمل ست محافظات أخرى تغطي منطقة مدينة شيكاغو بأكملها. وكان من ضمن مهام هذه الدراسة تحديد السياسات وجمع البيانات وتقديراتها المستقبلية، والتوصية ببرامج للتطوير والتحسين، وتقديم المساعدة الفنية للإدارات الحكومية المحلية. وقد لقيت الخطة الأصلية المقترحة للدراسة تعديلاً وتحديثاً مستمّرين.

خطوات التخطيط Steps in Planning. عادة ما يتم التخطيط وتنفيذ الخطط تبعاً لنمط عام حسب الخطوات المذكورة باختصار أدناه. ومن الواضح أن التفاصيل أو الاحتياجات لكل خطوة من هذه الخطوات ستتغير من مشروع لآخر.

١ - **إدراك الحاجة**. قد تكون الحاجة قائمة وماسة، كوجود اختناقات مرورية حادة، أو عدم وجود طرق للوصول إلى حي سكني أو مركز تجاري جديد، أو وجود تقاطع طرق تقع فيه الحوادث بمعدلات عالية. وعلى العكس، فقد تكون الحاجة غير ظاهرة حتى يجرى مسح لتحديد الاحتياجات الحالية والمستقبلية.

٢ - **غايات التخطيط**. يجب أن يكون للتخطيط اتجاه وغرض محدّدان، إذ يجب تحديد الغايات التي تمثل قيم المجتمع وتحديد الأهداف اللازمة لتحقيق تلك الغايات. وتمثل الغايات التخطيطية الاتجاه الذي يرغب المجتمع أن يتحرك فيه سواء أكان على مستوى المدينة أو المنطقة أو على المستوى الوطني. فالمجتمع الذي يهتم أساساً بالتقدم الاقتصادي ستكون غايته جذب الصناعات والمنشآت التجارية، وسيصمّم نظام نقل يستوعب تلك الأنشطة. وإذا كانت المدينة معنية بالكفاءة التشغيلية فستطلب إنشاء طرق مستقيمة غير متعرجة ومباشرة، في حين أن المدينة المهتمة بالجوانب الجمالية، فقط، ستسمح بقدر لا بأس به من الازدحام والتفاف طرقها في سبيل الحفاظ على جمال أشجارها ومبانيها الأثرية وعدم إزالتها. ومن هذا، يتضح أن الغايات تمثل الرغبات العامة للمجتمع.

٣ - **الأهــداف**. هي الوسائل التي تحقق بها الغايات، وذلك بإنشاء طريق سريع (أو بوساطة عدم إنشائه)، أو عن طريق إدخال خدمة مجدولة للحافلات أو الانصراف إلى نظام حافلات يستجيب للطلب. وتستخدم «المعايير» مقاييس للأهداف، فمثلاً، يمثل تحديد سعة مواقف السيارات بحيث تزيد بنسبة ١٥٪ على الطلب معياراً للتطور المطلوب لسعة المواقف. ويمثل تطوير المواقف، بدوره، هدفاً يستخدم لتحقيق الغاية المتمثلة بالقضاء على الازدحام في منطقة وسط المدينة.

٤ - **مسوحات الطلب.** تؤسس مسوحات الطلب قاعدة بيانات يمكن للتخطيط أن يستمر على أساسها، وتعتمد أحجام الحركة وحمولاتها اللازم نقلها بوساطة نظام النقل اعتمادا كبيرا على استخدامات الأراضي وأعداد السكان. ويمكن - عن طريق المسوحات - معرفة أنماط النمو السابقة والوضع لكل من أعداد السكان واستخدامات الأراضي والصناعات والمنشآت التجارية وأنظمة النقل القائمة واستخدامات تلك الأنظمة. وسنناقش تفاصيل الطرق المحددة لإجراء المسوحات في الفصل القادم.

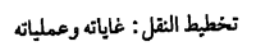
٥ - **تحليل الطلب.** متى ما حُدّد الطلب تُوزّع الرحلات المرورية على الطرق والمسارات القائمة ووسائل النقل المتوافرة باستخدام طرق توزيع المرور وتخصيصه التي سنتحدث عنها بالتفصيل لاحقاً. وتتم مقارنة السعة الحالية بالطلب الحالي وتحديد النقص أو الزيادة في السعة. وعند هذه النقطة، يمكن أخذ اختيار وسيلة النقل في الاعتبار، ثم تُعَدّ تنبؤات وتوقعات للطلب المروري المستقبلي وتوزّع الرحلات المرورية على الطرق، وتحدّد الزيادة أو النقص في السعة مرة أخرى.

٦ - **تصميم الحلول.** يجب الأخذ في الاعتبار جميع الحلول الممكنة وإجراء دراسة تفصيلية للحلين أو الثلاثة حلول الأكثر قبولاً، حيث تختار بعد ذلك وسيلة النقل وتصمم المواقع والشبكة ومستوى الخدمة المأمول والتكلفة الاقتصادية، وذلك لكل بديل من الحلول البديلة. كما تحدّد الآثار الاجتماعية والبيئية المترتبة عليها.

٧ - **تقويم البدائل.** يجب تقويم البدائل العديدة التي اختيرت لإجراء تحليل تفصيلي لها، وذلك لعرضها على الجهات صاحبة القرار. ويجب أن يهتم هذا التقويم بمنفعة الحلول البديلة أو فعاليتها، أي قدرتها على تحقيق الأهداف المنشودة. كما يجب، أيضاً، حساب التكلفة الاقتصادية لكل بديل، وكذلك التكاليف الاجتماعية والبيئية. ويجب تحديد جميع الآثار المهمة المترتبة على كل حل بديل، ويعد قبول المجتمع للحل البديل معياراً مهما جداً.

٨ - **رفع التوصيات.** نادراً ما تكون الجهة القائمة بالتخطيط هي الجهة صاحبة القرار، لذا، ترفع الخطط الموصى بها والبدائل الحيوية إلى هيئة التخطيط المختصة أو مجلس المحافظة أو المجلس البلدي أو المجلس التشريعي أو مجلس النواب لإقرارها والمصادقة عليها. ويجب أن تشتمل التوصيات على الطرق المقترحة للتمويل.

٩ - **التنفيذ.** متى ما اعتمدت خطة معينة وصودق عليها يجب تحديد إجراءات التمويل التي تتيح إعداد المخططات والتصاميم النهائية، ونزع ملكيات الأراضي وطرح المناقصة والتشييد، ثم الخطوة النهائية وهي التشغيل. ويوضح الشكل (١٣,١) التسلسل الممكن للتخطيط.



الأرض
السكان
الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية
المشاكل وإدراك وجود الحاجة
تحديد غايات التخطيط وأهدافه
الحصر
مرافق النقل
استخدام المرافق
توليد الرحلات
مسح الطلب
توزيع الرحلات
تعيين الرحلات المرورية
الفصل بين وسائط النقل
التوقعات المستقبلية
تحليل الطلب
تصميم واحد أو أكثر من الحلول
تقويم البدائل
مستوى الخدمة
الجوانب الاقتصادية
الجوانب البيئية
الجوانب الاجتماعية
العرض على متخذي القرارات
تطوير خطة التمويل
التنفيذ :
الإنشاء
التشغيل
تحليل التغذية الراجعة
مشاركات ممكنة من المجتمع والمواطنين

الشكل (١٣,١). إجراءات التخطيط.

وقد أجري التقسيم السابق للتخطيط إلى خطوات منفصلة ومميزة لتسهيل الدراسة والتحليل، فقط، إذ إن هناك علاقات وثيقة وتنسيق بين جميع الخطوات. فعلى سبيل المثال، يمكن أن يعتمد اختيار نوع واسطة النقل تقريباً اعتماداً كلياً على المسار المطلوب اجتيازه أو بالعكس. كما أن تحديد الخطة الملائمة للتمويل قد تحكم جميع أجزاء المشروع وخطواته. لذا، يجب أن يشترك مهندس المشروع في كل خطوة من خطوات المشروع.

ويمكن للتخطيط المبدئي أن يشير إلى ما إذا كان المشروع غير ضروري أو غير مجد. وفي هذه الحالات، يكون التخطيط قد حقق غرضاً مهما في الحيلولة دون إضاعة الأموال والجهود في مشاريعَ غير ضرورية أو غير مجدية. وسنتناول في الصفحات التالية عدداً من الخطوات التسع السابقة بتفصيل أكثر.

الغايات والأهداف
GOALS AND OBJECTIVES

كما ذكرنا سابقاً، إن غايات التخطيط هي ملخصات عامة لقيم المجتمع كتحسين الحالة الاقتصادية للمجتمع أو تأمين المزيد من فرص العمل والوظائف أو رفع مستوى المعيشة. أما الأهداف فهي الطرق التفصيلية (في مجال النقل) التي يمكن بوساطتها تحقيق تلك الغايات. ويدخل في ذلك المسائل المتعلقة بتعريف خصائص الطلب واختيار واسطة النقل وتأثير ذلك على قيم المجتمع وتطلعاته وعلى البيئة.

غايات التخطيط Planning Goals. إن مجرد القيام بإدراك وجود حاجة لتحسين نظام النقل يمكن أن يحدد غايات التخطيط. فالغاية الأساسية ستكون إشباع تلك الحاجة المدركة، حيث يجب تحديد نوع الطلب ومداه وتلبيته. وبالإضافة إلى ذلك، فإن هناك غايات عامة تنطبق كلياً أو جزئياً على جميع أعمال تخطيط النقل.

ويمكن افتراض وجوب تحديد مستوى معين من الخدمة لتلبية الطلب المقدر. وتعد العوامل الملائمة من حيث السعة والسرعة وتكرار الخدمة وسهولة الوصول غايات متأصلة للتخطيط. ويجب، أيضاً، اختيار نوعية مناسبة للخدمة، وغالباً ما ترتبط نوعية الخدمة بالطلب، إذ يمكن أن تواجه النوعية السيئة للخدمة بمعارضة الجمهور ورفضه.

ويمكن تلخيص نطاق التخطيط بالقول إن غايات النقل هي توفير خدمة آمنة من الباب إلى الباب ومتاحة للاستخدام في جميع الأوقات، ويعتمد عليها تحت ظروف الطقس كافة. ويجب أن تمتاز الخدمة بأقل قدر من التأثير العكسي والضار بالبيئة وبالمجتمع وقيمه. كما يجب أن تؤمن درجة معقولة من الراحة، وكل تلك العوامل يجب أن تتم بتكلفة معقولة.

ويحتوي الجدول (١ , ١٣) على قائمة بالغايات التي يمكن أن تتعلق بأي جهد تخطيطي. وبلا شك، فهناك غايات أخرى عديدة غالباً ما تكون محلية بالكامل أو خاصة بوضع معين.

ولما كانت إحدى وظائف النقل هي ربط السكان باستخدامات الأراضي، فإن هناك غاية إضافية هي ضمان توافر إمكانية الوصول المتبادل بين استخدامات الأراضي المنشودة والسكان. وعندما يكون من المرغوب فيه عدم تطوير قطعة معينة من الأرض، فإن منع النقل من الوصول إلى هذه القطعة سيساعد مساعدة ملموسة على تحقيق ذلك.

الجدول (١٣,١): غايات نموذجية لتخطيط النقل العام

١ - تعزيز التدفق المروري (تخفيف الازدحام)
٢ - تقليل زمن الانتقال
٣ - تحسين مستوى السلامة
٤ - تخفيض تكاليف الخدمة
٥ - تسهيل الوصول لجميع استخدامات الأراضي
٦ - تسهيل الوصول لاستخدام معين من الأرض
٧ - زيادة تكرار الخدمة
٨ - زيادة تسهيل الوصول للخدمة
٩ - خدمة المسنين والعاجزين وغير البالغين لسن الرشد وغيرهم ممن لا يستطيع قيادة السيارة
١٠- تأمين الخدمة تحت ظروف الطقس كافة
١١- المحافظة على الأنماط القائمة لاستخدامات الأراضي
١٢- تغيير الأنماط القائمة لاستخدامات الأراضي
١٣- المحافظة على القاعدة الضريبية أو زيادتها
١٤- تخفيض التلوث بأنواعه - الجوي والمائي والأرضي والبصري والاهتزازي
١٥- المحافظة على المباني الأثرية المتنزهات والمناظر الطبيعية
١٦- المحافظة على السمات الجمالية مثل الأشجار
١٧- المحافظة على التوازن البيئي (بين الكائنات الحية وبيئتها) أو تحسينه
١٨- إدراك احتياجات الطبقات الاجتماعية والمصالح المختلفة كافة
١٩- المحافظة على قيم المجتمع وتكامل الأحياء السكنية
٢٠- المحافظة على فرص العمل أو إيجاد فرص جديدة
٢١- المحافظة على توافر الوحدات السكنية أو زيادتها
٢٢- تلبية المطالب الصناعية والتجارية
٢٣- ترشيد استهلاك الطاقة
٢٤- العمل على توفير المواد الخام، وكذلك المنتجات الجاهزة
٢٥- توسيع فرص السوق التجاري

وعندما يمتلك القطاع الخاص ويموّل خدمة للنقل، فإن الغاية من ذلك تحقيق الربح. ولكن لن يتأتى تحقيق أرباح إذا لم يشتمل التخطيط على العوامل السابقة، ويجب أن تكون الخدمة مفيدة وجذابة. ويجب - بخاصة - تحديد احتياجات الشاحن أو الراكب من خدمات النقل وفهمها وخاصة إذا كانت الخدمة المقترحة ستتنافس مع غيرها. وبالنسبة للنقل التجاري، فإنه غالباً ما يشار إلى هذا الجهد باسم التسويق أو الترويج بدلاً من التخطيط، ويجب أن تكون النتيجة النهائية هي نفسها أي تحقيق احتياجات المستخدم استخداماً معقولاً.

تحديد الطلب Establishing Demand. قد يحمل إدراك وجود الحاجة في طياته مستوى ثابتاً من الطلب. فكمية الإنتاج المتوقعة من أحد حقول النفط تحدد سعة خط الأنابيب الذي ينقل هذا الإنتاج. وكذلك، فإن مستوى الخدمة لسكة حديد لنقل خامات المعادن يقوم على أساس تقديرات مهندس التعدين لكمية الإنتاج (المبيعات) السنوية من المنجم. وأيضاً، فإن تقديرات إحدى الصناعات لكمية إنتاجها ومبيعاتها تحدد الحاجة لاستخدام خدمات النقل المملوكة لها أو اللجوء إلى وسائل نقل عامة.

وقد يتطلب تخطيط مسار جديد أو خدمة جديدة إجراءات أكثر تعقيداً، فمثلاً، تحتاج الطرق البرية الجديدة إجراء دراسة للأوضاع الاقتصادية والاجتماعية والبيئية للمنطقة التي ستخدمها، ودراسة لتأثير المرافق المقترحة على تلك الجوانب. فقد يجذب المرفق الجديد الحركة من المسارات القائمة ومن وسائل النقل الأخرى. ويمكن أن يكون المرفق الجديد حافزاً للنمو الصناعي أو التجاري أو الزراعي، كما قد يكون عائقاً للنمو في أماكن أخرى.

ويجب تمييز مصادر الحركة أو مولداتها وتحديد كمية الرحلات أو الشحن المتولدة منها. ويجب، أيضاً، تحديد توزيع الحركة من بداياتها إلى نهاياتها أو مقاصدها، سواء أكانت أطناناً من الشحن أو أعداداً من رحلات الأفراد أو المركبات، وتحديد وسائط النقل والمسارات التي تستخدمها تلك الحركة. ومن المعلومات المطلوبة، أيضاً، خصائص تركز الطلب في فترات الذروة وتأثيرها على السعة المطلوبة. وسنناقش في الفصل الرابع عشر مسوحات الحصر والجرد، ودراسات بدايات الرحلات ونهاياتها، والعوامل المُحدِّدة لتولد الرحلات، وطرق تخصيص الرحلات على الشبكة، ونماذج توزيع الرحلات المطبقة في تخطيط النقل الحضري والإقليمي على حد سواء.

ويتم تحليل الطلب الحالي على النقل ثم التنبؤ به وتقديره في تاريخ مستقبلي، مثلاً، بعد ٢٠ سنة قادمة. ويتم تطوير نمط للحركة المرورية سواء الفعلية أو المقدرة ليشمل تقويماً كمياً لنوع المنقولات ومن أين ستنطلق وأين ستنتهي وحجم الحركة مصنفاً حسب نوع المنقول ومساره ووسيلة النقل المستخدمة لنقله والمحطة. كما يجب تقويم عملية اختيار واسطة النقل. وهناك صعوبات في الحصول على تقدير دقيق للطلب الحالي، وبالتالي، فإن عملية التنبؤ وتقدير تلك العناصر في تاريخ مستقبلي ستكون أكثر صعوبة ونتائجها أقل دقة وتأكداً.

اختيار واسطة النقل Selection of Mode. يجب أن تُختار واسطة النقل أثناء التوسع في نظام النقل الحضري أو الإقليمي أو غير ذلك. وهنا يثار عديد من التساؤلات مثل: هل يجب أن تقوم المدينة بإنشاء نظام نقل عام سريع بالقطارات أو توسيع شبكتها من الطرق السريعة؟ وهل يجب منع السيارات من دخول شوارع معينة ليتسنى إنشاء شبكة من طرق الدراجات الهوائية؟ وكيف يجب تقسيم الأموال الحكومية بين احتياجات النقل بالسكك الحديدية والنقل المائي والنقل على الطرق؟ وهذا ينطوي على العوامل التقنية وعوامل التكلفة لكل منها.

ومن الواضح أن عملية اختيار وسيلة النقل تمثل جانباً مهماً من عملية تخطيط النقل. وكثيراً ما يعالج هذا الموضوع في أذهان العامة (وفي أذهان قلة من المختصين أيضاً) بمزيج من الجهل والعاطفة والانحياز وتغليب المصلحة الشخصية. وهذا يلجئنا إلى تكرار القول إن الغاية الأساسية للنقل هي خدمة المجتمع خدمة مباشرة أو غير مباشرة.

وواسطة النقل أياً كان شكلها هي وسيلة لتحقيق تلك الغاية فحسب. ولذا، فإن واسطة النقل التي يجب اختيارها هي الواسطة التي تعطي أقصى درجة من المنفعة، أي الأنسب لأداء المهمة المعينة موضع الدراسة، وكذلك هي التي يمكن أن توفر مستوى الخدمة ونوعيتها المطلوبين عند مستوى مقبول من التكاليف الاقتصادية والاجتماعية والبيئية.

ومتى ماحدد مستوى الطلب، يمكن اعتبار بدائل وسائط النقل المختلفة لتحديد قدراتها على تأمين السعة المطلوبة مع الجداول الزمنية لتكرار الخدمة والحركة على المسار أو الشبكة التي تضمن توافر الخدمة أينما وحالما تطلب.

كما يجب أخذ نوعية الخدمة في الاعتبار أيضاً، إذ إن الطلب على الخدمة يعتمد جزئياً على نوعية الخدمة. فوسيلة النقل أو نظامه اللذان يلبيان جميع احتياجات السعة وتكرار الخدمة وسهولة الوصول والسرعة والتكلفة، قد يظلان غير مقبولين إذا كانا يفتقران إلى الاعتمادية أو يستهلكان الطاقة بشراهة أو يؤثران عكسياً على البيئة.

المنفعة Utility. تهدف غايات التخطيط لتوفير خدمة النقل الآمنة والمريحة والسريعة من الباب إلى الباب تحت ظروف الطقس كافةوالتي تمتاز بالاعتمادية عند نقل حجم ونوع محددين من السلع، وذلك بتكلفة معقولة. وتقاس مقدرة أي واسطة نقل لأداء تلك الخدمة بدرجة منفعتها أو فائدتها. وتعتمد المنفعة، بدورها، على الخصائص التقنية والاقتصادية لواسطة النقل المعينة. وغالباً ما يمكن تحقيق منفعة واسطة نقل معينة على أفضل وجه بالاستفادة من منفعة واسطة نقل أخرى في الوقت نفسه، مثل الحاويات التي تنقل براً وبحراً، أو مقطورات الشاحنات التي تنقل على عربات حديدية مسطحة، أو النقل بوساطة الجمع بين خطوط الأنابيب وشاحنات الصهاريج أو صنادل الصهاريج. ويمكن للقارئ مراجعة الجزء الذي يتحدث عن فعالية التكلفة في الفصل الخامس عشر.

النقل المتوازن Balanced Transporation. يؤدي عامل المنفعة إلى مفهوم النقل المتوازن، وهو استخدام كل واسطة نقل في المجال الذي يحقق لها المنفعة المثلى. وعند استخدامها في غير ذلك المجال، قد تكون منفعتها هامشية ولا يكون استخدامها مبنياً على تكاليفها الهندسية أو مقدرتها. ولا يعني النقل المتوازن المساواة في الاستخدام أو التمويل، ولكن المقصود هو تقديم الخدمات اللازمة لتلبية الطلبات المختلفة وفقاً للمقدرة التقنية والاقتصادية لواسطة النقل لتقديم تلك الخدمة. ويتضمن ذلك أولويات استخدامات الأراضي وتوزيع الاعتمادات المالية وتحليل وسائط النقل على أساس القدرة لتقديم المستويات والنوعيات المرغوب فيها للخدمة، وتخصيص وسائط النقل وتوزيعها على مجالات الاستخدام المناسبة للاستفادة منها. ويمكن أن يعني ذلك أيضاً تشجيع خاص لواسطة نقل أو لأخرى عندما يكون تطورها واستخدامها في أي وقت من الأوقات معتمدين على تطور وسائط نقل أخرى ونموها.

المنفعة مقابل التقنية Utility Verus Technology. ذكرنا سابقاً الخصائص التقنية والاقتصادية التي تساهم في المنفعة وتشمل عوامل مرتبطة بالتكلفة مثل مقاومة الدفع وقوة الدفع ونسبة الحمولة للوزن الفارغ والكفاءة الحرارية والاستجابة لميول الطريق والمرونة والسلامة والسرعة والسعة والتأثيرات على البيئة والاعتمادية وحدوث التلوث والتكلفة، وعوامل أخرى عديدة. ويمكن للمرء أن يُقوّم كل واسطة من وسائط النقل يجري اعتبارها على أساس كل عامل من هذه العوامل. ولأن عدداً من هذه العوامل ينعكس في تكاليف الإنشاء والتشغيل، يمكن إجراء

التقويم على أساس التكلفة تقويما رئيساً ثم تُقوّم بعد ذلك على أساس متطلبات عوامل السلامة والاعتمادية والمرونة والتأثيرات على البيئة والتلوث والطاقة. ويمثل الأسلوب الذي يظهر في الجدول (٢, ١٣) أحد الأساليب العديدة الممكنة لإجراء مثل هذا التقويم. وسنتناول في الفصل الخامس عشر تحليل بدائل وسائط النقل وغيرها من البدائل.

منفعة واسطة النقل Modal Utility. تعد الطريقة التي تنعكس فيها الخصائص التقنية على منفعة نظام معين من وسائط النقل من الأمور المهمة في استخدامها. فنجد، مثلاً، أن نظام أسلاك التعليق يحتاج إلى تكاليف إنشاء ابتدائية عالية نظراً لثقل أسلاك التعليق وطولها، كما أن إنتاجيتها منخفضة وهي قليلة المرونة لنوع البضاعة وحجم الحركة، ولكنها تمتاز بإمكانية استخدامها في التضاريس الوعرة عندما لا يمكن لأية واسطة نقل أخرى اختراق تلك التضاريس، كما أن استخدامها يمتاز بالسهولة والاقتصادية المعقولتين.

وكذلك فإن للسيور المتحركة تكاليف إنشائية أولية مرتفعة أيضاً، بسبب غلاء قيمة السيور، وكونها تتطلب نقل أحجام شحن ضخمة لتعويض تلك التكاليف. كما أنها محدودة المرونة من حيث مساراتها ونوعية البضائع التي تنقلها (المواد الحبيبية السائبة بشكل رئيسي) وتحتاج إلى وجود مسارين منفصلين للحركة في الاتجاهين.

وخطوط الأنابيب شبيهة بالسيور المتحركة ولكنها تستخدم في مجال نقل السوائل. وقد ظلت المياه والصرف الصحي والغاز والنفط ومشتقاته هي السلع السائلة الوحيدة التي تنقل بكميات كافية لتبرير استخدام خطوط الأنابيب الباهظة التكاليف. وقد ساعد استخدام الأنابيب في نقل المواد الصلبة المعلقة على توسيع مجال منفعة خطوط الأنابيب، إلا أن الطاقة الإضافية اللازمة لسحق خامات المعادن أو الفحم إلى جزيئات صغيرة، بالإضافة إلى الكميات الهائلة من الماء اللازمة للتعليق (ثم إزالة هذه المياه عند وصول الشحنة من خلال استخدام مزيد من الطاقة) قد فرضت صعوبات ومشكلات بسبب الحاجة لاستخدام مصادر الطاقة ومصادر المياه الشحيحة.

وبالرغم من عامل السرعة المرتفعة للطائرات، فإن إنتاجيتها، مقاسة بالطن صافي - ميل لكل طائرة - ساعة، ليست مرتفعة. كما تشكل محدودية مرونتها عند الإقلاع والهبوط في الطائرات التجارية وتأثر عملياتها بظروف الطقس عوائق إضافية. ومع ذلك، فإن ميزتها التقنية المتمثلة بالسرعة يجعل الميزان يميل لمصلحة النقل الجوي لدى قطاع كبير من جمهور المسافرين ولمجموعة محدودة نوعاً ما من الشاحنين.

وتتيح الممرات المائية قدراً مرغوباً به من القدرة الحصانية والإنتاجية ومرونة شحن البضائع. ولكن السرعة البطيئة للنقل المائي والافتقار إلى مرونة المسار والتأثر بالظروف الجوية، كل ذلك يحدُّ من النقل المائي عبر اليابسة ويجعله مقصوراً على نقل السلع التي تكون السرعة في نقلها أقل أهمية من النقل بأحجام وكميات كبيرة. ولا يزال النقل البحري عبر المحيطات مستمراً في نقل جميع أنواع السلع ولكن النقل الجوي استطاع أن يستحوذ على معظم عمليات نقل الركاب وأن ينقل بعض السلع والبضائع العامة.

وبالرغم من انخفاض إنتاجية السيارة الخاصة وارتفاع معدلات حوادثها المرورية وتأثرها بظروف الطقس، إلا أنها أصبحت ناقلاً رئيساً للركاب، وانتشر استخدامها بنسبة تفوق قدراتها وميزاتها التقنية. وتنقل الشاحنات نسبة مرتفعة من السلع والبضائع داخل البلاد، والميزة الرئيسة للنقل على الطرق البرية هي المرونة العالية لمساراتها

الجدول (٢,١٣): المنفعة التقنية.

واسطة النقل	المزايا التقنية الأساسية	مجال الاستفادة منها
السكك الحديدية	مقاومة دفع ضعيفة، المرونة، الاعتمادية، السلامة.	نقل السلع السائبة والبضائع العامة بين المدن، غير مناسب للنقل لمسافات قصيرة ونقل السلع داخل المحطات، مفيد في نقل الركاب في المناطق المكتظة بالسكان ونقل المسافرين بين المدن لمسافات تتراوح بين ٥٠ و ٣٠٠ ميل (٨٠ إلى ٤٨٠ كم) ولمسافات أطول إذا كانت السرعة غير ذات أهمية.
الطرق البرية	المرونة خصوصاً في اختيار المسارات، السرعة وسهولة الحركة في الخدمات المحلية وداخل المحطات.	النقل الفردي، وأيضاً نقل البضائع العامة والسلع التجارية ذات الأحجام والكميات المتوسطة، خدمات استلام البضائع وتسليمها، النقل داخل المحطات والنقل بين المدن لمسافات قصيرة إلى متوسطة، خدمة التغذية لوسائل نقل أخرى.
الممرات المائية	الإنتاجية العالية للسفينة أو لزورق القطر (طن صاف - ميل للسفينة أو للزورق - ساعة) عند قدرة حصانية منخفضة لكل طن.	حركة بطيئة للشحن السائب المنخفض القيمة عندما تتوافر الممرات المائية، نقل البضائع العامة عندما لا تكون السرعة عاملاً مهماً أو عندما لا تتوافر وسائل نقل أخرى، عادة غير مفيدة في نقل المسافرين محلياً.
الطرق الجوية	السرعة العالية	نقل الركاب أو البضائع عندما يكون عامل الوقت مهماً - لمسافات متوسطة إلى طويلة، ونقل السلع الثمينة نسبة لوزنها وحجمها، تستخدم الطائرات العمودية لخدمة التغذية وكخدمة أجرة عامة.
خطوط الأنابيب	الجريان المستمر، أقصى قدر من الاعتمادية والسلامة.	نقل السوائل عندما يكون حجم الطلب الكلي واليومي عالياً، والاستمرارية في الشحن مطلوبة، له قابلية لاستخدامه في نقل المواد الصلبة المعلقة عند توافر سائل تعليق بكميات مناسبة.
السيور المتحركة	مزايا خطوط الأنابيب نفسها.	نقل المواد السائبة الحبيبية عندما يكون حجم الطلب الكلي واليومي عالياً والاستمرارية في الشحن مطلوبة لمسافات نقل تتراوح بين ١٠,٠ و ١٠٠ ميل (١٦,٠ إلى ١٦٠ كم)، له قابلية لتطويره في المستقبل ناقلاً للركاب داخل المدن.
العربات الهوائية المعلقة	لا تتأثر كثيراً بالتضاريس، قدرة حصانية منخفضة لكل طن صاف - ميل.	مفيد، فقط، في الحالات التي تحد فيها التضاريس الوعرة من استخدام وسائل نقل أخرى إما بسبب عدم جدواها الاقتصادية أو استحالة استعمالها، توفر خدمة التغذية.
النقل العام السريع الفردي	المركبات ومساراتها خفيفة الوزن، المركبات منخفضة السرعة ومنخفضة السعة مما يوفر الخصوصية.	المطارات ومراكز التسويق ووسط المدينة التجاري وشبكات للنقل في المدن التي يتراوح عدد سكانها بين ١٠٠٠٠ و ٥٠٠٠٠٠ نسمة.

التي تسمح باستخدامها للرحلات القصيرة والطويلة على حد سواء حسب الرغبة. وقد أشرنا سابقاً إلى الاستخدامات المفيدة للشاحنات في النقل داخل المحطات. وتعد المقدرة على تحريك مقطورة محملة ونقلها مباشرة من باب الشاحن إلى باب صاحب البضاعة ميزة مهمة. ولا يكون استخدام الشاحنات في نقل السلع السائبة عموماً ذا ميزة إلا للمسافات القصيرة وذلك كخدمة تغذية. فمثلاً، سوف يحتاج الأمر ٣٠٠ شاحنة سعة كل منها ٢٠ طناً، لنقل محتويات قطار بضائع واحد سعته ٦٠٠٠ طن صاف، كما نحتاج ١٠٠٠ شاحنة لنقل محتويات إحدى ناقلات البضائع السائبة عبر البحيرات العظمى.

وتمتاز السكك الحديدية بتدني مقاومة الدفع لحركتها مع اعتماديتها المنبثقة عن إرشاد حركة عجلاتها المشفهة على القضبان، وكذلك تمتاز بالمرونة في كل من مساراتها وحركتها ونوع البضائع التي تنقلها وحجمها. ومن الناحية التقنية البحتة، فليس هناك مجال للنقل، باستثناء الحركة التفصيلية داخل المحطات، لا يمكن للسكك الحديدية أداء وظائف الخدمة فيه، ولكن كفاءتها القصوى تظهر في نقل الكميات الكبيرة من الشحن السائب في قطارات مفردة.

الاقتصاد في استهلاك الوقود Fuel Economy. تشكل تكلفة الوقود أحد أكبر عناصر التكلفة في المصاريف التشغيلية للنقل. وتملي البديهيات الاقتصادية الحاجة للحصول على أكبر قدر ممكن من النقل من استخدام مقدار معين من الوقود، أي طن صاف – ميل لكل طن أو جالون من الوقود. وتعاني بعض الدول مشكلات حادة نتيجة النقص في إمدادات الطاقة مما يتطلب الاقتصاد في استهلاكها. وتعد الكفاءة الحرارية أحد العوامل الأساسية كما ذكرنا في الفصل الخامس. ويمكن الحصول على أقصى كفاءة عن طريق إنشاء محطة توليد مركزية بالبخار أو بالديزل تقوم بالإمداد بالطاقة الكهربائية للقاطرات الكهربائية والحافلات الكهربائية (حافلة ترولي) وقطارات النقل العام السريع. وتقترب محركات السفن التوربينية الكهربائية من الكفاءة نفسها. كما أن الاستغلال المباشر لطاقة الحركة في محركات الديزل يعمل، أيضاً، على تحقيق كفاءة حرارية عالية، في حين تعطي المحركات البخارية المباشرة في السفن وقاطرات النقل أقل كفاءة حرارية. ويدخل في الصورة أيضاً الفاقد أثناء نقل الطاقة إذ يصل إلى ٥٠٪ في رفاصات وأعمدة الإدارة في السفن و٢٠٪ إلى ٤٠٪ في محركات الطائرات المروحية.

ويدخل في حساب الاقتصاد في استهلاك الوقود أيضاً كل من نسبة القدرة الحصانية لكل طن صاف ونسبة الوزن الفارغ للحمولة. وهذه-بدورها-مرتبطة بوحدة مقاومة الدفع لكل نوع من النقل من خلال الوقود المستهلك للتغلب على الاحتكاك ولتحريك الوزن الفارغ. وهناك عوامل أخرى تساهم في استهلاك الوقود وتشمل كلاً من المدة التي يظل فيها المحرك مشتعلاً دون القيام بحركة وعدد الأميال التي تقطعها المركبة فارغة، وقيم عوامل التحميل النموذجية، ودرجة تعقيد المسارات التي تسلكها المركبة وتعرجها. ويجب اعتبار عوامل التحميل في كل من الاستخدام الحالي وعما سيكون عليه الوضع عند توافر التوجيه الجيد والحوافز التشغيلية. وتمثل معدلات الاستهلاك الفعلي للوقود لكل راكب ميل أو لكل طن ميل قيماً حرجة ومهمة مما يطرح تساؤلاً عن أفضل وسائط النقل التي يجب تشجيعها من أجل ترشيد الاستهلاك في الطاقة. وقد سبق إعطاء تقويم كمي لاستهلاك الوقود لدى وسائط النقل المختلفة في الفصل الثامن.

ويطرح أحد الباحثين في مجال الطرق، وهو السيد «برانهام Branham» المقارنة التالية: تستهلك السيارة الخاصة المتوسطة نحو جالون واحد من الوقود لكل ١٥ ميلاً من المسافة، فإذا كان مدى حمولة السيارة يتراوح بين ١,٥ و ١,٧ راكب، وبافتراض متوسط قدره ١,٦ راكب لكل سيارة، فإن الجالون الواحد من الوقود سيعطي نحو ٢٤ راكباً - ميل. وبالمقابل، فإن حافلة النقل بين المدن تستهلك جالونا واحدا لكل ٥,٣ ميل من المسافة، وتصل سعة النوع الشائع من الحافلات لـ ٣٧ راكباً، وبالتالي، عند افتراض أن الحافلة محملة بالكامل، فإنها ستستخدم الجالون الواحد لتوليد ١٩٦ راكباً- ميل. أما إذا كانت الحافلة محملة فقط بنسبة ٥٠٪ فإنها ستولد ٩٢ راكب- ميل في الجالون الواحد، أو نحو أربعة أضعاف ما تعطيه السيارة الخاصة. ثم يطرح السؤال التالي: من أجل الاقتصاد في مصادرنا الوطنية، هل يمكن أن نبرر استخدام السيارات الخاصة في النقل بين المدن؟(١)

ويمكن ترتيب وسائط النقل المختلفة المستخدمة للطاقة تنازلياً حسب الكفاءة النظرية لاستهلاكها للوقود كالتالي: خطوط الأنابيب، الممرات المائية، السكك الحديدية، الطرق البرية، وأخيراً الطرق الجوية. وتذكر بعض الدراسات أن السكك الحديدية أفضل من الممرات المائية من حيث كفاءة استهلاك الوقود وكونها أكثر استقامة وأقل تعرجاً في مساراتها من الممرات المائية. ومن الواضح أن ذلك سيختلف بين المسارات حسب أطوالها ومواقعها الجغرافية المختلفة. ويحتوي الفصل الثامن على مناقشة أكثر تفصيلاً لاستخدام الطاقة واستغلالها.

التأثيرات على البيئة Effects on Environment. بدأ الاهتمام يتزايد بتأثير وسائط النقل المختلفة على البيئة، وقد سبق أن ناقشنا تلك التأثيرات في الفصل الثامن، إلا أننا سنلخص أهمها في الفقرات التالية.

تتحمل المركبات على الطرق البرية جزءاً كبيراً من مسؤولية تلوث الهواء، ويجري حالياً تطوير حلول تقنية لذلك. والحل الأسرع هو التقليل من استخدام مركبات الطرق، كما أنها تساهم، أيضاً، في أنواع أخرى من التلوث تشمل الضوضاء والاهتزازات وأحياناً التلوث البصري.

أما الطائرات فهي مصدر للضوضاء وتلوث الهواء خصوصاً عند إقلاعها وهبوطها. ولا يزال التأثير السلبي للطائرات النفاثة التي تحلق عالياً والطائرات الأسرع من الصوت على طبقة الأوزون التي تحمي الغلاف الجوي غير معروف تماماً، ولكن هناك نقاشات ساخنة حول خطورة ذلك. أما الضوضاء التي تحدثها الطائرات النفاثة فهي أشد ما تكون حول المناطق المحيطة بالمطارات وتؤثر، أيضاً، على المناطق التي تبعد عدة أميال عن مدارج الطائرات.

ولا تشكل ناقلات الزيت العابرة للمحيطات أي مشكلات تلوث تذكر إلا في حالة تسرب الزيت منها، مما يتسبب في تلوث المياه والشواطئ الذي قد يصل لحد الكارثة، وذلك من خلال اللامبالاة في تنظيف صهاريجها وإلقاء الزوائد والمخلفات منها في البحر، أو بسبب اصطدامها بأجسام أخرى.

ولا ينتج عن عمليات السكك الحديدية الجيدة التشغيل والصيانة سوى قليل من التلوث الاهتزازي والضوضاء والتلوث المائي (من خلال مخلفات أحواش المحركات)، وعادة ما ينشأ النوعان الأولان من أنواع التلوث المذكورة

---

(١) A. K. Branham, "National Transportation and Research Applied to Some Highway Transporation Problems", Highway Research Abstracts, April 1950, p. 19, Highway Research Board.

في الساحات والمحطات. ولكن المشكلات الأخطر تنشأ عند خروج القطارات المحملة بالمواد المشعة أو المتفجرة أو المسببة للصدأ عن سككها، خصوصاً عندما لا يتم الالتزام بمواصفات عالية لصيانة القضبان. ولاتزال هذه المشكلات تحت الدراسة المتعمقة لإيجاد حلول لها.

ولأن خطوط الأنابيب عادة ما تدفن تحت الأرض، فإنها لا تشكل ضرراً على البيئة إلا في حال تعرضها للكسر. وعلى سبيل المثال، فقد لقي خط أنابيب ألاسكا في الولايات المتحدة معارضة بسبب أن بعض أجزائه لم تكن مدفونة تحت الأرض، وذلك لتفادي هبوطها في المناطق الجليدية وبروز تلك الأجزاء فوق سطح الأرض بأطوال كبيرة قد يؤثر على هجرة الحياة الفطرية هناك.

وهناك آثار بيئية أخرى تشترك فيها جميع وسائط النقل وتشمل - بدرجات متفاوتة - كلاً من الضوضاء والاهتزاز وغازات عوادم المحركات والحد من استخدامات الأراضي والتلوث البصري (أي فقدان الجوانب الجمالية) واختراق الطرق وما يتبعها من أنشطة للمناطق السكنية والمتنزهات ومناطق الاستجمام وكذلك الآثار العكسية على التكوين الحساس للمناطق البرية والمناطق النائية وما عليها من حياة فطرية.

ملخص تقني Technological Summary. يلخص الجدول (٢ , ١٣) مجالات المنفعة التقنية لوسائط النقل المختلفة. وهذه تمثل، عموماً، مجالات المنفعة الاقتصادية، أيضاً. ومع ذلك يجب استخدام إجراءات التقويم التي سنناقشها لاحقاً، وذلك لتحديد الفعالية الاقتصادية للنظام ومنفعة أية مجموعة معينة من الغايات وبيئتها.

تكاليف الإنشاء Construction Costs. لأن تكاليف الإنشاء الأولية أو التكاليف الرأسمالية غالباً ما تكون ذات أهمية كبرى في اختيار وسيلة النقل، فإننا نعطي في الجدول (٣ , ١٣) بعض الأمثلة النموذجية لتلك التكاليف لوسائط النقل المختلفة. ويجب ملاحظة أن التكاليف المعطاة للطرق السريعة والنقل العام السريع داخل المدن تعد عديمة الفائدة نظراً لوجود اختلافات كبيرة من ميل لآخر حسب الظروف المحلية وحسب قيم الأراضي التي تخترقها. والأمثلة المعطاة كافية للإشارة إلى أن تلك التكاليف يمكن أن تكون مرتفعة جداً.

طرق التمويل
METHODS OF FINANCING

أهمية الموضوع Importance. إن أحد المتطلبات الأساسية لأي مشروع هي القدرة على الحصول على رأس مال لتمويله. ويمكن أن يكون لطريقة التمويل تأثير كبير على تصميم المشروع ومعداته وعلى مواقع المسارات وعلى معدل التقدم في العمل. وقد أثرت منح الأراضي التي قدمتها الحكومة المركزية والحكومات المحلية (في الولايات المتحدة) على تحديد مواقع كثير من سكك الحديد القائمة. وعندما يكون هناك نقص في رأس المال اللازم فقد يتطلب ذلك تأخير المشروع أو إنشائه على عدة مراحل. وقد تكون الاعتمادات المالية الحكومية لإنشاء الطرق محدودة في بعض الفترات. وعلى أية حال، فيجب عدم الشروع في أي مشروع إذا لم تتوافر اعتمادات مالية كافية لإنجازه، أو إذا لم يكن المشروع جذاباً بدرجة يستطيع معها جذب رأس المال للاستثمار.

الجدول (١٣,٣): التكاليف النمطية للإنشاء لكل ميل من المسار (قيمة المعدات مشمولة ما لم يذكر خلاف ذلك).

وسيلة النقل	التكلفة لكل ميل من المسار بالدولار
السكك الحديدية:	
السكة فقط[أ]	١٠٠٠٠٠ إلى ٢٠٠٠٠٠
السكك والمنشآت والمعدات	٢٠٠٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠٠
النقل العام السريع بالقطارات السطحية	٢ إلى ٨ ملايين
النقل العام السريع بقطارات الأنفاق	٦ إلى ١٥ مليوناً
الطرق:[أ]	
طريق خارج المدن بعرض ٢٤ قدما	
(رصف خرساني بحارتين)	١٠٠٠٠٠ إلى ٤٠٠٠٠٠
طريق سريع داخل المدن	٦ إلى ١٢ مليونا
طريق سريع متعدد المستويات	(تتوقف التكلفة على عدد المنشآت)
خطوط الأنابيب:	
النفط والغاز	١٥٠٠٠٠ إلى ٢٠٠٠٠٠
الفحم (عن طريق التعليق)	١٥٠٠٠٠ إلى ٢٠٠٠٠٠
السيور المتحركة:	
السيور	٢٠٠٠٠٠ إلى مليون واحد
الأرصفة المتحركة	١ إلى ١,٥ مليون
العربات الهوائية المعلقة	٧٠٠٠٠ إلى ١٢٠٠٠٠
القطار الأحادي القضيب:[أ]	٣٠٠٠٠٠ إلى مليون واحد
نظام آلويج - مشروع ساو باولو	٢,٥ مليون
هيوستون - مشروع تجريبي[ب]	٢٠٠٠٠٠ إلى ٥٠٠٠٠٠
لوس أنجلوس - مشروع مقترح[ب]	٩٤٥٠٠٠

(أ) لا يشمل قيمة المعدات.
(ب) مقترحة لم تنفذ بعد.

وهنا نوعان أساسيان من طرق تمويل مشاريع النقل أحدهما عن طريق تمويل القطاع الخاص والآخر عن طريق التمويل الحكومي وحق الحكومة في الاستدانة من الوفورات.

الوفورات والدخل المعاد استثماره Savings and Reinvested Income . أكثر طرق التمويل تحفظاً هو باستخدام الوفورات المالية، وسواء أكان المشروع خاصاً أو عاماً فإنه يمكن استثمار الأموال الفائضة والاحتياطيات المتراكمة في الأنشطة الخاصة بالشركة أو بالحكومة. وإذا كانت العوائد المالية المكتسبة من الاستثمار في أنشطة الشركة الخاصة غير جذابة بما يكفي لإعادة استثمار الوفورات المالية والدخل فيها مرة أخرى، فليس من الحكمة استمرار وجود

الشركة نفسها. وكذلك، فإن من الصعب توقع أن يقوم الغرباء بالمجازفة برؤوس أموالهم في تمويل مثل تلك المشاريع. وعلى أية حال، فنادراً ما تكون الوفورات والاحتياطات المالية كافية لتمويل المشاريع الضخمة، لذا، يجب البحث عن مصادر التمويل بوسائل أخرى.

الأسهم والسندات Stocks and Bonds. تعد الاستثمارات الرأسمالية التي على شكل أسهم وسندات إحدى الطرق التقليدية في تمويل السكك الحديدية وخطوط الأنابيب وغيرها من العمليات التجارية. وفي حالة الأسهم، لا يلزم دفع عوائد للمساهمين إلا في حال تحقيق أرباح (والتي لا تحدث دائماً)، لذا، فإن بيع الأسهم يمثل أقل الالتزامات لدى الناقل. وبالرغم من ذلك، فإن بيع الأسهم يوسع الملكية ولن يمكن جذب رأس المال المرغوب فيه إلا إذا كان المشروع يتمتع بسمعة مالية جيدة.

أما السندات فهي التزام ثابت من الشركة، وقد تؤدي الجهود لدفع مبالغ ثابتة لحاملي السندات وتجنب الإفلاس غالباً إلى تأخير عمليات الصيانة مما يعجل بتدهور حالة المشروع ومعداته، كما تتأثر الخدمة المقدمة، أيضاً. وليس هناك دخل أو رأسمال جديد لاستبدال أجزاء المشروع المتهالكة أو التي عفى عليها الزمن، أو للاستفادة من التطورات التقنية الحديثة. ويشكل دفع الديون الثابتة سنوياً عبئاً كبيراً جداً على أي مشروع يحاول أن يرسخ دعائمه.

وعند وضع ممتلكات أية شركة نقل تحت الحراسة القضائية، فإن الأمناء عادة ما يركزون أولاً وقبل كل شيء على توفير رؤوس أموال حاملي السندات، وذلك من خلال إجراء الإصلاحات والصيانة العاجلة للمنشأة ومعداتها لاستعادة التكامل الطبيعي للمنشأة المملوكة التي وضعت كضمان مالي لحاملي السندات. وقد يجد مهندس الصيانة أن من الأنسب له العمل مع ناقل يملك سيولة مالية كافية للقيام بأعمال الصيانة في أوقاتها بدلاً من العمل مع ناقل يفتقر للسيولة.

التمويل الحكومي Public Financing. ينبني معظم التمويل الحكومي على السلطة العامة للحكومة لفرض الضرائب والاقتراض. وتقليدياً، تنشيء الحكومة المركزية الممرات المائية بما في ذلك من تشييد وإنارة وحراسة وصيانة وتشغيل المرافئ والقنوات والأهوسة والأنهار والسدود، وذلك دون أدنى تكلفة على المستخدم. كما توفر الحكومة المركزية، أيضاً، الممرات الجوية والمساعدات الملاحية، ويتم تحويل تكاليف الإنشاء والصيانة من خلال فرض الضرائب العامة، وقد يدعم ذلك بضريبة استخدام عند الحاجة.

وتضم الإعانات الحكومية الأخرى كلاً من منح الأراضي لشركات السكك الحديدية كحافز لتشجيع مد السكك الحديدية في المناطق التي لم تصلها التنمية والتطوير، ودفع مبالغ الإعانات المباشرة لشركات الطيران (خلال المراحل الأولى من تشغيلها والتي قد تطول أحياناً)، وللملاحة البحرية التجارية، وتقديم القروض وضمانات القروض خصوصاً لشركات السكك الحديدية مؤخراً. وقد أنشئت المطارات لاستخدام شركات الطيران، إلا أنه تحصل رسوم من هذه الشركات لقاء هبوط طائراتها واستئجار حظائر الطائرات وخدمات المطار الأخرى.

وبالإضافة إلى المنح التي تتلقاها حكومات الولايات المتحدة المختلفة من الحكومة الاتحادية لإنشاء الطرق الوطنية، فإنها تحصل على الأموال اللازمة لإنشاء الطرق من خلال الضرائب المفروضة على الملكيات ومن المخصصات الحكومية، إلا أن التمويل الأساسي يتم من خلال الضرائب التي تفرضها الحكومة على الوقود ورسوم تسجيل المركبات الآلية، ورسوم رخص القيادة، ومن عائدات الرسوم المفروضة على استخدام الطرق والجسور والأنفاق. وتتلقى بلديات المدن الصغيرة والكبيرة دعماً حكومياً لصيانة الشوارع التي تشكل جزءاً من شبكة المسارات الاتحادية أو داخل الولاية، إلا أنها يمكنها، أيضاً، فرض ضرائب محلية على الوقود وتسجيل المركبات والحصول على إيرادات من عدادات تحصيل الأجرة في مواقف السيارات على جوانب الشوارع، ومن تحصيل مبالغ المخالفات المرورية.

السندات الحكومية Government Bonds . نادراً ما تكون عائدات الضرائب لأية فترة زمنية معينة كافية للقيام بمشاريع إنشائية ضخمة قد تكون مرغوباً فيها في تلك الفترة. لذا، يجب في تلك الحالات اقتراض الأموال عادة على شكل سندات تصدرها الحكومة أو المحافظة أو البلدية المحلية، كما يمكن أن تصدر السندات هيئات أو وكالات تنشئها الحكومة لهذا الغرض، ويضمن هذه السندات الميزانية العامة للدولة و الضرائب وغيرها من الرسوم المحصلة من مستخدمي الطريق. وعادة ما تكون معدلات الفائدة على قروض السندات أقل منها للسندات التجارية، كما أن عمرها قد يمتد إلى ٧٥ سنة، ولكنه يتراوح عادة بين ٣٠ و ٤٠ سنة. وعند إصدار السندات، قد يحدد انتهاء مدة السندات جميعها في الوقت نفسه، وأحياناً تقسم إلى مجموعات صغيرة بحيث يحدث استحقاق سداد الدين لكل مجموعة على فترات متتابعة خلال عمر الإصدار.

ويمكن استخدام أنواع متعددة من السندات ويعتمد الاختيار بينها على معدل الفائدة التي يجب دفعها وعلى مصادر اعتمادات تسديد القروض وأحجامها وعلى حالة السوق. ونستعرض فيما يلي بعض هذه الأنواع.

السندات المدعومة بالضرائب العامة. هنا يتم ضمان سداد السندات من ميزانية الدولة ولكن دون فرض أي ضرائب أو عائدات خاصة من أجل سدادها عند انتهاء أجلها.

السندات المدعومة بالضرائب على المركبات. لدعم هذه السندات تخصص نسبة مئوية معينة من الضرائب المحصلة (أو جميعها) من رسوم رخص القيادة وضرائب الوقود وضرائب إطارات المركبات سواء على مستوى الدولة كلها أو على مستوى جزء أو قطاع معين من الطريق الجاري تمويله.

سندات الإيرادات. لقد اكتسبت سندات الإيرادات في الولايات المتحدة مزيداً من القبول كوسيلة لتمويل الطرق والجسور والأنفاق التي لا يسمح للعامة باستخدامها إلا عند دفع رسوم عبر مداخلها. وتودع الإيرادات المحصلة نظير استخدام المرفق في حساب خاص، وذلك لسداد رأس المال المقترض والفوائد المترتبة عليه حتى انتهاء أجل السندات. وبعد ذلك، يفتح المرفق أمام العامة بدون مقابل أو برسوم مخفضة

تكفي لتغطية الصيانة السنوية. وقد تشمل تلك الرسوم، أيضاً، مخصصات رأسمالية لإعادة تشييد الطريق عند انتهاء عمره التشغيلي. وهذا الأسلوب يعطي مثلاً رائعاً لقيام مستخدمي الطريق بتمويله.

ولا يكون أسلوب التمويل بسندات الإيرادات مجدياً للطرق السريعة، عموماً، إلا إذا كانت تقع في مناطق مزدحمة مرورياً وكثيفة سكانياً، وذلك لضمان وجود حركة مرورية كافية لتوفير الإيرادات الكافية لتغطية التكاليف. وإذا لم يكن الطريق الجديد قادراً على اجتذاب حركة كافية لدفع الرسوم التي تغطي تكاليف إنشائه وتشغيله، فيجب، عندئذ، طرح التساؤل عما إذا كان يجب إنشاء الطريق أم لا، أو، في الأقل، ما إذا كان يجب تخفيض مواصفات تصميم الطريق وإنشائه.

البرامج البديلة Alternative Programs. من المراحل الضرورية في مسألة التمويل سواء للمشاريع الخاصة أو الحكومية تقرير ما إذا كان من الواجب الاستمرار على أساس فكرة «التمويل المرحلي» أو على أساس اقتراض الأموال كلها دفعة واحدة أي بإصدار السندات. وتقوم فكرة «التمويل المرحلي» على أساس تأجيل أجزاء من برنامج الإنشاءات الجديدة أو الترميمات بحيث تُنفّذ كمية من الأعمال السنوية من الاعتمادات المالية المتوافرة من الدخل أو الضرائب. وهذا يعني أنه يجب أيضًا، تأجيل الاستفادة من المزايا الكاملة للبرنامج المكتمل لسنوات عديدة.

أما البديل الآخر فهو اقتراض الأموال عن طريق إصدار السندات مما يؤمن أموالاً واعتمادات كافية في الوقت الحاضر لإنجاز المشروع بأكمله، وبالتالي، يمكن تحقيق الفوائد والوفورات الممكنة في الحال. وتكمن عيوب ذلك في ارتفاع تكاليف الفائدة التي يجب أن يتحملها المشروع خصوصاً في سنواته الأولى عندما يكون المشروع في مهده مما يجعله أقل قدرة على تحمل ذلك.

وقد تكون هناك مزايا ترجح استخدام أسلوب التمويل بالاقتراض ودفع فوائد القروض، فمثلاً، لو أردنا أن ننشيء سكة حديدية أو طريقاً أو قناة مائية على أساس التمويل المرحلي، فإن الأجزاء القديمة وغير المحسنة من المشروع يجب أن تستمر صيانتها وتشغيلها لتحمل الحركة الحالية والمستقبلية حتى يتم تحسين هذه الأجزاء أيضاً. وتشير حقيقة أن المسار تجري إعادة إنشائه إلى أنه غير ملائم أو مستهلك أو عفى عليه الزمن. وعلى أي حال فإن، إبقاءه في حالة جيدة ربما يتطلب مصاريف صيانة مرتفعة وبالتالي، تكاليف نقل مرتفعة من خلال تأخيرات الحركة والحوادث والإدارة. ويجب موازنة هذه التكاليف الإضافية ومقارنتها بمصاريف فوائد قروض السندات، وذلك لتحديد أي البديلين سيعطي رأس المال نفسه بأقل تكلفة اقتصادية إجمالية. وبمعنى آخر، يجب دائماً اعتبار الوضع القائم بديلاً (يسمى البديل الخامل)، كما يجب، أيضاً، اعتبار إمكانية ازدياد الإيرادات المتحققة من التحسينات عاملاً للتخفيف من مصاريف الفوائد على السندات أو للقضاء عليها.

وسيتأثر القرار بالأجل المقترح للسندات مقابل مدة العمل بالتمويل المرحلي. وسيكون متوسط التكلفة التشغيلية الإضافية أكثر لخطة تمويل مرحلي تستمر مدة ٢٠ سنة عنه لخطة تستمر ١٠ سنوات. وكذلك، فإن المصاريف الإجمالية للفوائد على السندات لأجل ٢٠ سنة ستكون أقل منها للسندات الآجلة لـ ٤٠ سنة. ومن الواضح أنه يجب إجراء المقارنة في كلتا الحالتين وذلك على ضوء الأموال المتوقع تحصيلها سنوياً من الدخل أو من الضرائب.

وهناك مشكلة مهمة في هذا التحليل وهي التحديد الاقتصادي الهندسي لما ستكون عليه التكاليف الزائدة للإنشاء والتشغيل عند تنفيذ خطط التمويل المرحلي ذات المدد المختلفة. وعادة ما يكون الإنشاء المرحلي أكثر تكلفة من تنفيذ المشروع بالكامل مرة واحدة. ولذا، يجب الاعتماد على التقدير والخبرة الهندسية المدعومة بأكبر قدر ممكن من البيانات التاريخية للتكلفة في تقرير ذلك.

والمشكلة الأخرى لخطة التمويل المرحلي التي تواجه المهندس هي محاولة التوفيق بين تشغيل الجزء الجديد من المسار مع تشغيل الجزء القديم منه. وقد تنشأ ظروف مرورية صعبة للغاية عندما تصب حركة المرور على جزء من طريق سريع عالي السعة والسرعة في شوارع وطرق قديمة ضيقة ومزدحمة. وكذلك، فإن تجهيز المطارات بأجهزة الهبوط الآلي لن يؤدي إلى تحقيق التحسين المرغوب فيه من حيث السلامة والسعة حتى يتم تجهيز جميع الطائرات المستخدمة لها بأجهزة مشابهة. كما أن مقصورة الإشارات في القطارات لن تتمكن من استبدال مكان الإشارات الجانبية على السكة ما لم يتم تجهيز جميع القاطرات ومواقع الإشارات على طول السكة بالمعدات اللازمة. وعلى أية حال، فإن هذا لا يعني أن التنفيذ على مراحل (الذي سنناقشه في الجزء التالي) أمر مستحيل أو غير مستحب. ويكمن الفرق في أن التصميم والتخطيط يُعدآن عمداً على أساس بناء المشروع بأكمله على مراحل بحيث يتمان تماما، فقط، للجزء الذي تمس الحاجة إليه أو لقطاع كامل من المشروع. أما التمويل المرحلي فينطوي على أخطار تتمثل في إمكانية الاضطرار لإيقاف المشروع عند مرحلة أو حالة غير مناسبة إذا لم تتوافر الأموال الكافية لتلك السنة أو أن تقديرات الإيرادات أو الضرائب كانت متفائلة جداً. ويمتاز أسلوب التمويل المرحلي المشمول مع تخطيط دقيق للتنفيذ على مراحل بمزايا عديدة تجعل منه أسلوباً يوصى بالأخذ به.

التنفيذ المرحلي Stage Construction. التنفيذ على مراحل مشابه من أوجه عديدة لخطة التمويل المرحلي. وتنطبق هذه الطريقة على كل من الإنشاءات الجديدة وأعمال الإصلاح والترميم. ويقضي البرنامج الأولي بتلبية الاحتياجات الحالية ووفقاً للحد الأدنى من المواصفات، وتُجرى بعد ذلك التحسينات والإضافات حسب الحاجة. فقد يكون الطريق بحارتين ملائماً في الوقت الحالي، ثم تضاف حارة ثالثة بعد خمس سنوات وبعد ١٠ سنوات تضاف حارة رابعة. كما قد تُمَدُّ أحياناً السكك الحديدية والطرق بمنحنيات حادة وميول شديدة للتوفير في تكاليف الإنشاء الأولية، ثم تقلل في وقت لاحق درجات الانحناء والميول.

ومن الممكن الوقوع في أخطاء جسيمة في هذه المرحلة، فمثلاً، عند مد سكة حديدية بميول شديدة في البداية فإن ذلك قد يتطلب إعادة إنشاء السكة في مواقع أخرى أخف ميولاً في المستقبل لتحقيق الاقتصاد في التشغيل. ولكن لو اتّبعت قواعد جيدة للإنشاء واختيار الموقع فيمكن إبقاء درجة الميل منخفضة قدر الإمكان عند حد معين، وذلك سيساعد على التغلب على الارتفاعات جميعها في الوقت نفسه. وفي مرحلة لاحقة، يمكن تقليل الميل عن طريق تغيير موقع الميل الحاكم، فقط، أو عن طريق شق نفق، ثم في مرحلة أخرى لاحقة يمكن شق نفق أطول وأقل ميلاً لتقليل الميل الحاكم بمقدار أكبر. وبذا، فلا داعي لإجراء أي تغيير في بقية أجزاء الخط التي سبق إنشاؤها في مواقعها المناسبة.

وتُحدّد المزايا الاقتصادية الإجمالية للتنفيذ على مراحل بمقارنة تكاليفها مع تكاليف الإنشاء الفوري وفقاً للمتطلبات والمواصفات القصوى. وهذه الطريقة مشابهة للإجراءات التي شرحناها لخطط التمويل المرحلي. وهناك عامل آخر يجب أن يؤخذ في الاعتبار وهو التغيرات الممكنة في أنماط الحركة وفي التقنية التي قد تظهر لاحقاً والتي يجب عدم حجبها وإعاقتها عن طريق استثمار مبالغ ضخمة في المرافق والمعدات الثابتة في وقت مبكر. ومن الصعب اتخاذ هذه القرارات دون إجراء دراسة مستفيضة.

توزيع التكلفة
ALLOCATION OF COST

رسوم الاستخدام Principle of User Payment. يحصّل الناقلون العامون والناقلون التعاقديون وإدارات الطرق والجسور والقنوات التي تُفْرضُ رسومٌ على استخدامها لقاء الخدمة التي يقدمونها، وتستخدم المبالغ المحصلة في سد تكاليف التشغيل والتمويل. وعندما تكون تلك الطرق والجسور والقنوات منشأة بوساطة هيئات حكومية يطرح أحياناً التساؤل عما إذا كانت رسوم الاستعمال كافية لاستعادة جميع التكاليف أم لا، ولكن هذا السؤال يتعلق، فقط، بالمدى الذي ترغب الحكومة إستعادته من التكاليف وليس متعلقاً بمبدأ تحصيل الرسوم.

ومن المرجح أن يكون المهندس أكثر اهتماماً بتوزيع التكلفة واستردادها في المشاريع الحكومية من طرق وممرات مائية ومطارات. وإذا لم تكن هناك رسوم على استخدام المرافق كما في حالة الممرات المائية، فإن دافعي الضرائب هم الذين يتحملون التكلفة، ولا يمكن تجنب التكاليف. وبالرغم من أن تحمل دافعي الضرائب لتكاليف الممرات المائية لايزال تقليداً معمولاً به منذ زمن طويل، إلا أن عدداً من المهندسين والاقتصاديين لا يقبلون ذلك كطريقة سليمة وعادلة لتوزيع التكاليف. ويمكن تبرير مجانية استخدام الممرت المائية على أساس أن مرافق النقل هي للصالح العام من حيث نقل البضائع العامة وكذلك لسد احتياجات البلاد الدفاعية. وهذه العوامل موجودة، أيضاً، في السكك الحديدية والطرق والمطارات.

وعلى أية حال، فإن الرأي المحافظ السائد هو وجوب اعتبار الفوائد العائدة للمستخدمين، فقط، أساساً للتبرير الاقتصادي، وعلى ذلك، يجب توزيع التكاليف على المستخدمين الفعليين، فقط. ويتمشى توزيع التكلفة على المستفيدين مع النظام الوطني للتنافس بين وسائل النقل ويختبر بجدية الطلب على خدمات النقل. وعلى هذا الأساس، تُحصّل تكاليف الطرق من المنتفعين بها مباشرة على شكل ضرائب على الوقود والمركبات وقطع الغيار، وتُحصّل تكاليف النقل الجوي من شركات الطيران والطيران الخاص على شكل رسوم هبوط ورسوم إيجار لحظائر الطائرات ومكاتب مبيعات التذاكر وغيرها من المكاتب والأماكن المشغولة الأخرى. وأما التساؤل عما إذا كان يجب استرداد التكاليف كافة عن طريق الرسوم أم لا، أو عما إذا كان على دافعي الضرائب العامة أو الحكومة تحمل بعض التكاليف فهو أمر قابل للجدل والنقاش. ويبدو أن رأي الأغلبية هو أن معظم التكاليف ولكن ليس كلها يجب أن يتحملها المستفيد.

تباين المستخدمين Differential Users. هناك مشكلة أصعب تحتاج لحلول هندسية وتبرز عند توزيع التكاليف بين الفئات المختلفة من المستخدمين للمرفق. وقد أشرنا في فصل سابق إلى أن الرسوم التي يفرضها الناقلون العامون والتعاقديون مبنية أساساً على تكاليف الخدمة. ومن المعروف أن تلك التكاليف تتفاوت بين الأنواع المختلفة من الخدمات والعمليات والمركبات. وبالمثل، فإن التكاليف والرسوم أو الضرائب المحصلة لتغطية تكاليف الطرق والممرات المائية والمطارات يجب أن تبنى على التكاليف المصروفة لتأمين الأنواع المختلفة من الخدمة التي عليها طلب. ويقصد بالخدمة في هذه الحالات، عادة، السعة الحجمية وقوة تحمل المرافق التي يطلبها المستخدمون.

والحل الهندسي للمشكلة ليس سهلاً خصوصاً في حالة الطرق. وقد أجريت سلسلة من التجارب على طرق تجريبية أنشئت خصيصاً لإجراء الاختبارات عليها بوساطة مجلس أبحاث الطرق الأمريكي لصالح مصلحة الطرق العامة، وذلك لتحديد تأثيرات مجموعات الأحمال المحورية للمركبات على الأنواع المختلفة من رصفيات الاختبارات. وعموماً، فقد وجد أن إنهيار رصف الطريق يحدث نتيجة تشقق الرصف الذي ينتج في البداية عن ارتجاج القاعدة الترابية وانضغاطها تحت تأثير الأحمال المتكررة للمركبات. والاستنتاج العام الآخر من تلك التجارب هو أنه حتى عند الحد الأدنى المسموح به للأحمال المحورية المفردة البالغ ١٨٠٠٠ رطل (٨١٧٢ كغم) سيحدث ضرر على الرصف نتيجة تلك الأحمال وأن الرصف المصمم على أساس ١٨٠٠٠ رطل للمحور المفرد سيعاني أضراراً أكبر تحت تأثير الأحمال الأثقل من الأحمال التصميمية للرصف. ويجب أن لا تتجاوز أحمال المحور المزدوج أكثر من قيمة أحمال المحور المفرد بمقدار مرة ونصف لتفادي ازدياد الضرر بالرصف. وتجدر الإشارة إلى أن الأحمال المحورية المسموح بها قد زيدت في عام ١٩٧٤ م في أمريكا من ١٨٠٠٠ رطل (٨١٧٢ كغم) إلى ٢٠٠٠٠ رطل (٩٠٨٠ كغم) للمحور المفرد ومن ٣٢٠٠٠ رطل (١٤٥٢٨ كغم) إلى ٣٤٠٠٠ رطل (١٥٤٣٥ كغم) للمحور المزدوج، كما زيد الوزن الإجمالي الأقصى للمركبة من ٧٣٢٠٠ رطل (٣٣٢٣٣ كغم) إلى ٨٠٠٠٠ رطل (٣٦٣٢٠ كغم).

ويبدو من ذلك أنه يجب استنباط طريقة معينة لتوزيع التكاليف توزيعاً عادلاً، بالإضافة إلى الرسوم المفروضة على الاستخدام، بحيث إن المركبات التي تسبب حدوث أكبر قدر من التلف والضرر للطريق، أو تلك التي تتطلب معايير تصميمية قصوى، يجب أن تتحمل حصة أكبر من التكاليف من المركبات الأخف التي تحدث أضراراً أقل أو التي يمكن أن تتحرك على طريق أقل من حيث المواصفات التصميمية والإنشائية.

وفي حين يعدُّ تحديد الإحتياجات والتكاليف لكل صنف من المركبات مسألة هندسية أساساً للأسباب المذكورة سابقاً، فإن المسألة تزداد تعقيداً بسبب العوامل السياسية والاعتقاد السائد في بعض القطاعات من المجتمع أن تأمين الطرق لاستعمال مركبات الأفراد الخاصة هي وظيفة حكومية. ويبدو أن التجارب السابق ذكرها تشير إلى أن السيارات الخاصة ربما تقوم، فعلياً، بتحمل تكاليف أكثر من حصتها وتدعم مالياً المركبات التجارية دعماً كبيراً.

أسئلة للدراسة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - اشرح كيف يمكن أن يختلف التخطيط لمشاريع النقل الخاصة عنه لمشاريع النقل الحكومية العامة.

٢ - ميّز بين كل من قيم المجتمع والغايات والأهداف والمعايير المستخدمة في تخطيط النقل، وأعط أمثلة لكل منها على كل من المستوى الوطني والإقليمي والبلدي المحلي.
٣ - عرّف منفعة وسيلة النقل واذكر أهم العوامل التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند تحديد المنفعة.
٤ - قارن بين خطط التمويل المرحلي والتنفيذ على مراحل من حيث المقصود بكل منها وأسس مبرراتها والمشاكل الهندسية التي ينطوي عليها كل منها، وما تأثيرها على الترتيبات المالية والتكاليف الإجمالية؟
٥ - عرّف الغرض من كل خطوة من خطوات عملية التخطيط، واذكر المشكلات الشائعة في كل خطوة.
٦ - ترغب بلدية مدينة يقطنها ٨٠٠٠٠ نسمة شراء ١٠ حافلات جديدة لتوسيع أسطولها من حافلات النقل الجماعي. ما الإمكانيات المتاحة لتمويل تكلفة شراء هذه الحافلات البالغة ٤٠٠٠٠٠ دولار أمريكي؟ اشرح مزايا كل أسلوب من أساليب التمويل الممكنة وعيوبه.

قـــراءات مقترحـــة
SUGGESTED READINGS

1. E. L. Grant and W. G. Ireson, *Principles of Engineering Economy,* 4th edition, Ronald Press, New York, 1960 or later.
2. Richard M Zettel, "Highway Benefits and Cost Allocation Problem", a paper presented to the Forty-Third Annual Meeting of the American Association of State Highway Officials.
3. *Social, Economic, Behaviorial, and Urban Growth Considerations in Planning,* Transportation Research Record 509, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1974.
4. *Defining Transportation Requirements,* papers and discussions of the 1968 Transportation Engineering Conference sponsored by the American Society of Mechanical Engineers and the New York Academy of Sciences.
5. *Cost-Benefit and other Economic Analyses of Transportation,* Transportation Research Record 490, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1974.
6. A. M. Wellington, *The Economic Theory of the Location of Railways,* 6th edition, Wiley, New York, 1914, Preface and Chapter 1.

الفصل الرابع عشر

جمع البيانات الحضرية وتحليلها
URBAN DATA COLLECTION AND ANALYSIS

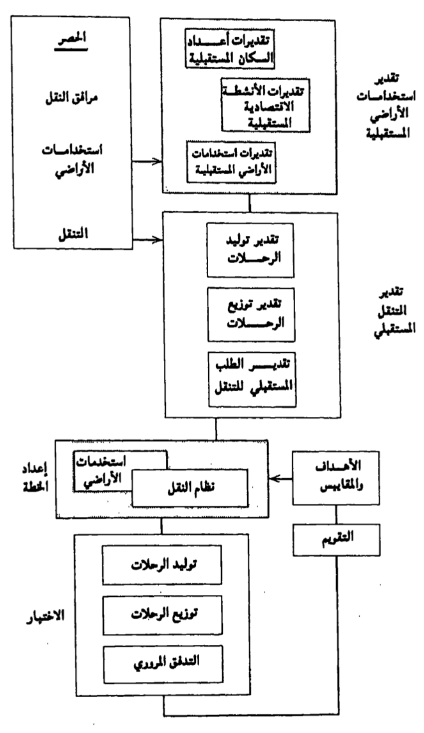
لقد بحثنا في الفصل السابق عملية تخطيط النقل مع التركيز على طرق تقويم بدائل الخطط والنظم. وسنركز في هذا الفصل على التعرف على البيانات اللازمة لتطوير البدائل وأساليب الحصول على تلك البيانات وتحليلها.

دالـــــة الطلـب
THE DEMAND FUNCTION

هناك خطوتان أساسيتان في أية عملية لتخطيط النقل هما : (١) تحديد الطلب لمستوى ونوعية معينين من الخدمة و(٢) تطوير خطة عمل مناسبة لتلبية الطلب. فالخطوة الأولى هي دراسة للاحتياجات، أما الثانية فهي دراسة للوسائل. والأساليب المعروضة هنا مستخدمة استخداماً مكثفاً في تخطيط النقل الحضري، إلا أنه يمكن تطبيقها، أيضاً، على المستويين الإقليمي والقومي.

وتختلف عمليات النقل من حيث التفاصيل باختلاف الغرض من الدراسة ونوع منطقة الدراسة وحجمها. ويوضح الشكل (١٤,١) بيانياً تسلسل الخطوات التي اتبعت عند إجراء دراسة النقل في منطقة مدينة شيكاغو الأمريكية. ويمكن من هذا الشكل تمييز وجود نمط عام للإجراءات شبيه بذلك الذي لخصناه في الفصل الثالث عشر.

مصادر الطلب Sources of Demand. تُجمع البيانات من أجل : (١) تحديد المستوى الحالي من الطلب على النقل واستخدامه و (٢) إيجاد أساس لتقدير الطلب المستقبلي.



الشكل (١٤,١). عملية التخطيط.

(Chicago Area Transportation Study, Volume I, Figure 1, 1958.)

ويُحدّد الطلب بناء على خصائص السكان واستخدامات الأراضي ومقدار الأنشطة المتولدة عن هذين العنصرين . كما قد يعتمد الطلب ، أيضاً ، على زمن الانتقال مما يربط الطلب ، في الأقل ، جزئياً ، بتقنية نظام النقل المستخدمة أو المقترحة . ويجب إيجاد قاعدة للبيانات يمكن من خلالها تطوير الطلب الحالي والمستقبلي .

السكــان Population . يحدّد عدد السكان الكلي لكل من منطقة الدراسة بأكملها وكذلك لكل حي من أحيائها المعروفة حدودها مسبقاً . كما أن من المطلوب ، أيضاً ، تحديد الكثافة السكانية وكيفية تركيزها ومعدل التدرج في الكثافة السكانية كلما ابتعدنا عن وسط المدينة . وبالرغم من أن بيانات السكان من حيث أعمارهم وطبقاتهم الاجتماعية ووضعهم الاقتصادي قد لا تستخدم دائماً ، إلا أنها تساهم بمعلومات مفيدة . وتشمل مصادر البيانات الإحصاءات الحكومية العامة وأدلة الخدمات العامة مثل دليل الهاتف ، والمقابلات المنزلية التي سنناقشها لاحقاً .

استخدامات الأراضى Land Use . تبرز درجة استخدام الأرض ونوعه لأية منطقة دراسة ، سواء أكانت منطقة أو حياً حضرياً أو مدينة بأكملها أو إقليماً أو دولة ، نتيجة لمجموعة من العوامل المرتبطة مع بعضها (انظر الشكل ٢ , ١٤) :

١ - مدى النمو والأنشطة الموجودة في المنطقة أو مساحة الأرض الأكبر التي تمثل منطقة الدراسة جزءاً منها . فالمحافظة أو المنطقة التي تقع ضمن الدولة تعكس- إلى درجة معينة-النمو الاقتصادي والزراعي والاجتماعي للدولة التي تقع فيها . وهذه تعد عوامل خارجية بالنسبة لمنطقة الدراسة .

٢ - درجة نمو منطقة الدراسة نفسها ، فالسكان ونوع الأنشطة ومداها داخل منطقة الدراسة يعتمدان ، بدورهما ، على :

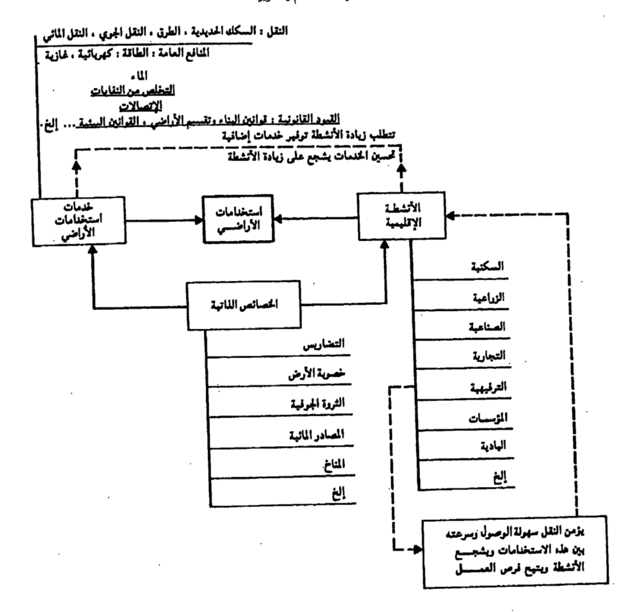
(أ) السياسات العامة السابقة للنمو والتطوير ، ومعدلات الضرائب السابقة .

(ب) الخصائص الذاتية للأرض من حيث التضاريس والخصوبة والموارد الطبيعية والطقس .

(جـ) التجهيزات والخدمات المتوافرة لاستخدامات الأراضي من حيث التزويد بالمياه والطاقة ومرافق التخلص من النفايات وقوانين التخطيط العمراني والقيود البيئية .

(د) شبكة النقل .

وتمثل استخدامات الأرض مراكز للأنشطة وتعمل كمولدات للحركة بمقادير تعتمد على نوع الاستخدام ودرجته . فالمناطق السكنية قد تولد حتى ٤٠٪ إلى ٥٠٪ من جميع الرحلات ، ولكن هناك مناطق أخرى تولد أنشطة وبالتالي ، حركة ، أيضًا ، وتشمل مناطق العمل الصناعية والتجارية والمدارس والمساجد والمستشفيات وأماكن الترفيه والترويح . ويجب تمييز مناطق الأراضي المرتبطة بكل نوع من الاستخدام من حيث موقعها ومساحتها ودرجة استعمالها . ويمكن الربط بين شدة الاستخدام أودرجته وعدد السكان لكل فدان أو لكل كيلومتر مربع ، وكذلك بين درجة الاستخدام والمساحة المخصصة لكل نوع من استخدام الأرض بالمتر المربع ، وذلك عن طريق تحديد كمية الأعمال والأنشطة التي تم القيام بها (مثل المبيعات التجارية أو نوع الصناعة) ، أو عن طريق كمية الإنتاج (كما في العمليات الصناعية) لكل وحدة من الأرض . كما يتم اعتبار الأراضي المخصصة للنقل ، أيضاً ، وكذلك الأراضي العامة مثل المتنزهات والمباني الحكومية .



الشكل (١٤,٢). عوامل تطوير استخدامات الأراضي.

ويجب تحديد الطلب المستقبلي على ضوء السياسات التطويرية والمستقبلية لاستخدامات الأراضي. وهذا يتطلب إما القيام بافتراضات تبسيطية (أي أن استخدامات الأراضي المستقبلية ستستمر بالنسبة نفسها، على سبيل المثال)، أو تطوير نماذج لاستخدام الأرض التي تشير لاستخدامات الأراضي المستقبلية وتأثير النقل على تلك الاستخدامات. فالطريقة الأولى مبسطة ولكنها لا تفي بالحاجة وتفتقر إلى الدقة، أما الطريقة الثانية فهي معقدة ومكلفة وتتطلب بيانات دقيقة قد يصعب الحصول عليها.

تولد الحركة المرورية Traffic Generation. يحدد العدد الإجمالي للرحلات المتولدة لكل نوع من استخدامات الأرض مصنفة حسب كل من الغرض من الرحلة ومقصدها وعمر القائم بالرحلة ووضعه الاقتصادي ووقت القيام بالرحلة وواسطة النقل المستخدمة والمسار الذي تسلكه الرحلة، وذلك من خلال إجراء المقابلات المنزلية أو الاستبيانات.

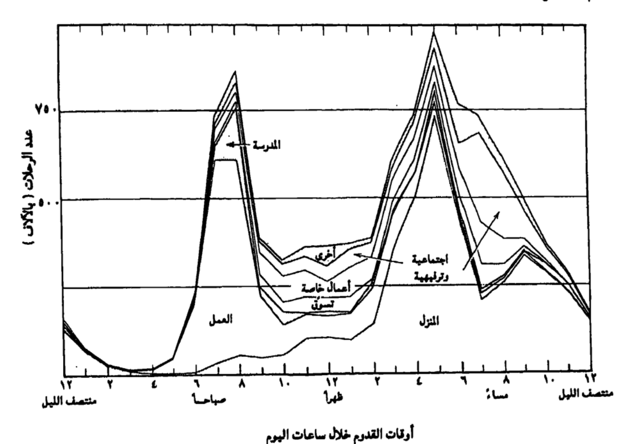
حصر المرافق Facility Inventory. تُميّز جميع مرافق النقل المتوافرة جميعها وتُحصر خصائصها وتذكر. وهذه تشمل كلاً من ملكية السيارات ودرجة استعمالها (من خلال مبيعات البنزين أو من خلال المقابلات المنزلية)، والشوارع والطرق السريعة مع ذكر عرضها وسعتها وضبط إشاراتها الضوئية، وسياسات وقوف السيارات وسعة مواقفها، والحافلات وسعتها ومساراتها وجداولها الزمنية، ومسارات النقل العام السريع بالقطارات وجداولها الزمنية وعدد سككها ومعداتها. وهذه البيانات جميعها ضرورية لتخصيص الحركة المرورية على الشبكة وتصميم الحلول الممكنة.

التدفق المروري Traffic Flow. تشتمل هذه البيانات على كل من حصر الأحجام المرورية لحركة السيارات والحافلات والسكك الحديدية داخل حدود منطقة الدراسة وبين الأحياء المختلفة، وذلك لكل من وسائط النقل المختلفة. ويجب تحديد خصائص تركيز الحركة في ساعات الذروة وتعداد حجم التدفق خلال تلك الساعات. ويوضح الشكل (٣, ١٤) رسماً بيانياً للخصائص النمطية لتركز الحركة المرورية خلال ساعات الذروة في مدينة شيكاغو الأمريكية. وتشكل بدايات الرحلات المرورية ونهاياتها وأحجامها المتحركة من حي لآخر لكل واسطة نقل ولكل مسار من المسارات المتاحة القاعدة الأساسية للتخطيط. وقد تكون بيانات بدايات الرحلات ونهاياتها متوافرة أصلاً لدى إحدى الهيئات الحكومية أو من دراسات أخرى، إلا أنه يجب الشك في صلاحيتها إذا كان عمرها يزيد على خمس سنوات. ومرة أخرى، فإنه يمكن استخدام المقابلات المنزلية المدعمة في بعض المواقع بالتعدادات الطوقية والتعدادات عند خطوط التدقيق للحصول على تلك البيانات. كما أننا سنحتاج لمعرفة زمن الانتقال على مختلف المسارات، وذلك في مرحلة تخصيص الرحلات من الدراسة.

تاريخ النمو History. يجب تطوير البيانات المتوافرة عن معدلات النمو السكاني وتلخيصها وتطوير استخدامات الأراضي وتطوير النقل العام ونمو ملكية المركبات واستخدامها وأي عوامل خاصة تساهم في معدلات النمو أو التغيرات فيها. وهذه البيانات التاريخية مفيدة في إعطاء صورة واضحة عن طبيعة الطلب الحالي وفي توضيح اتجاهات النمو وفي التنبؤ بمستويات الطلب في المستقبل.

عرض البيانات Presentation. تشكل البيانات السابقة التي تُجمع عن طريق نماذج المسح والاستبيانات كماً هائلاً يحتاج إلى دمج وتلخيص لتسهيل عملية التحليل بوساطة المستفيد منها. وبالنسبة للدراسات على المستوى الصغير، يمكن القيام بذلك بطريقة يدوية وعرضها على شكل جداول أو خرائط أو رسوم بيانية لمنطقة الدراسة، وذلك كنوع من توثيق البيانات بيانياً. وتعرض بيانات الشوارع والخطوط الحديدية عن طريق رسم خطوط (أو ألوان) متنوعة

توضح سعاتها . كما يمكن أن توضع نقاط بأحجام أو ألوان مختلفة لبيان العوائق والكثافات السكانية . وعادة ما تُوضّح استخدامات الأراضي بألوان مختلفة أو بتظليل المناطق بأنماط مختلفة . ويمكن توضيح حجم الحركة المرورية وتوزيعها بين بدايات الرحلات ونهاياتها بوساطة خطوط يتناسب سمكها مع حجم الطلب أو عن طريق وضع أعداد تمثل قيم الأحجام المرورية على المسارات المختلفة من شوارع وطرق سريعة وسكك حديدية بجوار الخطوط المقابلة المتفاوتة السُّمك .



الشكل (١٤,٣). التوزيع الساعيّ للرحلات الداخلية مصنفة حسب الغرض من الرحلة.

(Chicago Area Transportation Study, Volume I, Figure 15, 1958.)

إلا أنه عادة ما تكون كمية بيانات الدراسة ضخمة جداً لدرجة أن لا يمكن معالجتها وتحليلها إلا عن طريق إدخالها إلى الحاسوب ، ومن ثم معالجتها وتحليلها . وفي دراسات المدن الكبيرة جداً، لا توجد طريقة أخرى للتعامل مع البيانات بالرغم من أن الملخصات البيانية ربما تستخدم أيضاً، كما في دراسات المدن الصغيرة . والتقدم الحديث في الحواسيب يجعل من السهل التعامل مع كميات البيانات الضخمة وعرضها برسومات ثلاثية الأبعاد حسب الحاجة .

جمع البيانات : مسوحات بدايات الرحلات ونهاياتها
DATA COLLECTION : O-D SURVEYS

التعداد المروري Traffic Counts. تتمثل الطريقة الواضحة للحصول على بيانات التدفق المروري بالعد الفعلي لأعداد الأشخاص والمركبات أو القطارات أو الطائرات أو الحافلات القادمة أو المغادرة أو المارة من نقطة معينة. ويمكن القيام بهذا الحصر إما يدوياً باستعمال عدادات تشغل يدوياً أو بملء استمارات تعداد، أو باستعمال عدادات آلية.

التعداد الطوقي وخطوط التدقيق Cordon Counts and Screenlines. يمكن الحصول على الحجم المروري الكلي الداخل أو الخارج من منطقة أو مدينة أو إقليم معين عن طريق إحاطة المنطقة بمراقبين وموظفي إحصاء يسجلون من خلال المشاهدة أو مقابلة المتنقلين البيانات المتعلقة بجميع الحركة المرورية الداخلة أو الخارجة من منطقة الدراسة من حيث أعدادها وأنواعها وأغراضها وبداياتها ونهاياتها وواسطة النقل المستخدمة فيها . . . إلخ. وعملياً، فإن نقاط الحصر الطوقي تكون عادة محدودة في عدد قليل من النقاط الرئيسية كالتقاطعات والساحات ونقاط التحويل للسكك الحديدية أو النقل العام السريع بالقطارات، وكالمطارات ومحطات السكك الحديدية والحافلات للركاب القادمين والمغادرين للمدينة، وكالشوارع أو الطرق الرئيسية الموجودة على أطراف منطقة دراسة الحركة المرورية للمركبات وكمداخل الجسور والأنفاق التي تسير عليها المركبات أو مخارجها. ويمكن إجراء مقابلة لكل شخص يسير على قدميه وكل سائق مركبة (أو كل خامس أو عاشر شخص أو مركبة حسب حجم العينة المطلوبة). كما أن سجلات محطات وزن الشاحنات التي تديرها إدارة الطرق للتأكد من أوزان المركبات التجارية تعمل أيضاً، نقاط تدقيق.

وبالمثل، تحدد خطوط التدقيق أو محطاته الفاصلة عبر سلسلة من المسارات لحصر خصائص الرحلات والأحجام المرورية التي تتحرك بين نقطتين عبر الخط. وبذا، يمكن الحصول على التدفق بين منطقتين في المدينة أو بين قطاعين متجاورين من المسار أو بين إقليمين ونحوه. ويجب إجراء تعديلات على أحجام الحركة للأخذ بالاعتبار الحركة المتولدة أو المنتهية بين محطتي خط التدقيق.

وغالباً ما يكون من الأسهل (وأيضاً، الحصول على معلومات أكثر تفصيلاً) جمع البيانات إذا قُسّمت منطقة الدراسة الكبيرة إلى مناطق أصغر أو إلى أحياء، وحُصل على التدفق المروري بين كل الأحياء المختلفة. ويمكن تقسيم المدينة شبكياً إلى مناطق مربعة أو إلى حارات أو إلى أرباع أو إلى قطاعات. والوضع المثالي أن تمر خطوط التقسيم عبر أطراف الأحياء القائمة حول المدارس المحلية أو مركز الأنشطة السائدة في استخدام الأرض أو تحدد على أساس الحدود الجغرافية الطبيعية. وفي المدن الكبيرة جداً، قد يكون التقسيم أمراً اختيارياً باستعمال نظام شبكي بحيث تُرقّم كل منطقة جزئية للدراسة، وذلك لتسهيل معالجتها باستخدام الحاسوب. وقد وجد أنه من المفيد إجراء التقسيم الشبكي على أساس مربعات طول ضلعها ربع ميل أو حتى نصف ميل.

المقابلات المنزلية Home Interviews. تعد طرق الحصر الطوقي أو خطوط التدقيق نوعاً من المسح بالاستبيانات، إلا أن منفعة الاستبيانات تتحقق بدرجة قصوى في مسوحات المقابلات المنزلية، إذ تسجل المعلومات في استمارات

الاستبيانات المتعلقة بعادات التنقل ومتطلبات كل فرد في الوحدة السكنية من خدمة النقل عادة لمدة ٢٤ ساعة. انظر الشكل (٤, ١٤). وتُسجّل كل رحلة أنجزت (أو من المتوقع القيام بها) خلال فترة الـ ٢٤ ساعة هذه في خانة خاصة في نموذج الاستبيان مع معلومات عن بداية الرحلة ونهايتها والمسار الذي سلكته والغرض من الرحلة ومن الذي قام بها وواسطة النقل المستخدمة، أي هل تم القيام بها باستخدام السيارة الخاصة كسائق أو كراكب أو باستخدام الحافلة أو سيارة أجرة عامة أو بالقطار السطحي أو بقطار الأنفاق؟ ويقوم موظفو الإحصاء بزيارة كل منزل في مجموعة المنازل المتلاصقة (البلوك) (أو كل عاشر منزل حسب كثافة المنطقة وحجم العينة المرغوب فيه) وملء نموذج الاستبيان عن طريق المقابلة الشخصية. ويتراوح حجم العينة بين ١٪ و ٢٥٪ حسب حجم المدينة والبعد عن وسط المدينة التجاري.[1] ففي دراسة مدينة شيكاغو الأمريكية لعام ١٩٥٦ م، تمت مقابلة أفراد وحدة سكنية واحدة من كل ٣٠ وحدة سكنية. كما يمكن، أيضاً، إرسال نماذج الاستبيان عن طريق البريد أو تسلم باليد للأشخاص في المحطات أو نقاط التدقيق. ولكن حجم الإستجابة بالبريد نادراً ما يكون مرضياً أو كاملاً، ويعد عديم الفائدة لأولئك الذين يواجهون صعوبات في القراءة والكتابة.

وتُدْخل بيانات الاستبيان وتخزن في الحاسوب لتصنيفها وتحليلها. والتصنيف اليدوي عمل شاق باستثناء الحالات التي يكون فيها عدد الإستبيانات قليلاً. وتشير جداول التحليل المرغوب فيها إلى الأعداد الإجمالية للرحلات لكل نوع من الرحلات ولكل نوع من وسائط النقل في كل حي من أحياء منطقة الدراسة، وأيضاً توزيع تلك الرحلات على الأحياء الأخرى في منطقة الدراسة. وتوزيع الرحلات مفيد في تقدير عوامل النمو ويستخدم لتطوير نماذج رياضية لتوزيع الرحلات من أجل استخدامها في التنبؤ بالطلب المستقبلي. وأيضاً، هناك حاجة لتصنيف الرحلات بوسائط النقل المختلفة حسب الغرض من الرحلة ووقت القيام بالرحلة خلال اليوم.

وقد شرحنا حتى الآن استخدام الاستبيانات بالنسبة لتنقل الأفراد، ويمكن إجراء دراسات مماثلة بالاستبيانات والمقابلات في أماكن العمل والمصانع للحصول على بيانات عن رحلات نقل السلع من حيث بداياتها ونهاياتها وأحجامها ووسيلة نقلها، وذلك للسلع المستلمة والمرسلة من المصانع والمحلات التجارية. ولكن غالباً ما تتردد تلك المؤسسات بتزويد فريق الدراسة بمثل هذه البيانات. ويمكن أحياناً طلب المساعدة من الغرف التجارية لتحقيق تعاون الشركات المترددة بتوفير بعض البيانات، كما قد يتطلب الأمر اللجوء للسلطة التشريعية في بعض الحالات لتحقيق التعاون المطلوب.

ولا تعطي المسوحات بالمقابلات المنزلية سوى بيانات خلال قطاع محدد من الوقت بدون وجود استمرارية في البيانات مع مرور الوقت. لذا يجب توخي الاهتمام والحيطة عند اختيار وقت إجراء المسوحات. ويمكن أن يختلف تولد الرحلات بين أيام الأسبوع أو بين أشهر السنة، ويجب اختيار فترة نموذجية تمثل النمط الفعلي للتنقل داخل منطقة الدراسة، فمثلاً، قد يختلف نمط تنقل الناس خلال شهر رمضان أو خلال إجازات المدارس.

---

(١) Urban Mass Transportation Surveys, Prepered by Urban Transportation Systems Associates, Inc. for the U.S. Department of Transportation Washington, D. C., August 1972.

صفحة ... من ...

تقرير رحلة داخلية

☐ البطاقة ☐☐☐ البعد عن وسط المدينة التجاري ☐ الصنف الإجتماعي والإقتصادي ☐☐☐☐ رقم العينة ☐☐☐ رقم المنطقة ☐ يوم التنقل

١		٣	٣ أ	٣ب	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١
المهنة ونوع الصناعة	رقم الشخص	رقــم الرحلة	الجنس والعرق	العمر	من أين بدأت هذه الرحلة ؟	أين انتهت هذه الرحلة ؟	وقت الرحلة داخل منطقة المسح	الغرض من الرحلة (من / إلى)	العدد في السيارة	خط التدقيق	واسطة النقل	نوع موقف السيارة
☐☐	☐☐	☐☐	١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ☐	☐☐	☐☐☐	☐☐☐	صباحاً مساءً ☐☐☐	١ - العمل .... ١ ٢ - أعمال خاصة .. ٢ ٣ - طبي ، أسنان.. ٣ ٤ - مدرسة .... ٤ ٥- اجتماعي ترفيهي ٥ ٦- تغيير واسطة النقل ٦ ٧ - مطعم ٧ ٨ - التسوق ٨ ٠ - المنزل ٠ ☐ ☐	☐	☐	١ - يقود سيارته ٢ - راكب في سيارة ٣ - نقل عام حافلة ٤ - راكب سيارة أجرة ٥ - راكب شاحنة ☐	١ - على جانب الشارع مجاناً ٢ - على جانب الشارع بأجرة ٣ - في ساحة مجاناً ٤ - في ساحة بأجرة ٥ - متعدد الأدوار مجاناً ٦ - متعدد الأدوار بأجرة ٧ - خدمة أو إصلاح ٨ - ملكية سكنية ٩ - في حركة مستمرة ٠ - لم يوقف سيارته ☐
☐☐	☐☐	☐☐	١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ☐	☐☐	☐☐☐	☐☐☐	صباحاً مساءً ☐☐☐	١ - العمل .... ١ ٢ - أعمال خاصة .. ٢ ٣ - طبي ، أسنان.. ٣ ٤ - مدرسة .... ٤ ٥- اجتماعي ترفيهي ٥ ٦- تغيير واسطة النقل ٦ ٧ - مطعم ٧ ٨ - التسوق ٨ ٠ - المنزل ٠ ☐ ☐	☐	☐	١ - يقود سيارته ٢ - راكب في سيارة ٣ - نقل عام حافلة ٤ - راكب سيارة أجرة ٥ - راكب شاحنة ☐	١ - على جانب الشارع مجاناً ٢ - على جانب الشارع بأجرة ٣ - في ساحة مجاناً ٤ - في ساحة بأجرة ٥ - متعدد الأدوار مجاناً ٦ - متعدد الأدوار بأجرة ٧ - خدمة أو إصلاح ٨ - ملكية سكنية ٩ - في حركة مستمرة ٠ - لم يوقف سيارته ☐
☐☐	☐☐	☐☐	١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ☐	☐☐	☐☐☐	☐☐☐	صباحاً مساءً ☐☐☐	١ - العمل .... ١ ٢ - أعمال خاصة .. ٢ ٣ - طبي ، أسنان.. ٣ ٤ - مدرسة .... ٤ ٥- اجتماعي ترفيهي ٥ ٦- تغيير واسطة النقل ٦ ٧ - مطعم ٧ ٨ - التسوق ٨ ٠ - المنزل ٠ ☐ ☐	☐	☐	١ - يقود سيارته ٢ - راكب في سيارة ٣ - نقل عام حافلة ٤ - راكب سيارة أجرة ٥ - راكب شاحنة ☐	١ - على جانب الشارع مجاناً ٢ - على جانب الشارع بأجرة ٣ - في ساحة مجاناً ٤ - في ساحة بأجرة ٥ - متعدد الأدوار مجاناً ٦ - متعدد الأدوار بأجرة ٧ - خدمة أو إصلاح ٨ - ملكية سكنية ٩ - في حركة مستمرة ٠ - لم يوقف سيارته ☐
☐☐	☐☐	☐☐	١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ☐	☐☐	☐☐☐	☐☐☐	صباحاً مساءً ☐☐☐	١ - العمل .... ١ ٢ - أعمال خاصة .. ٢ ٣ - طبي ، أسنان.. ٣ ٤ - مدرسة .... ٤ ٥- اجتماعي ترفيهي ٥ ٦- تغيير واسطة النقل ٦ ٧ - مطعم ٧ ٨ - التسوق ٨ ٠ - المنزل ٠ ☐ ☐	☐	☐	١ - يقود سيارته ٢ - راكب في سيارة ٣ - نقل عام حافلة ٤ - راكب سيارة أجرة ٥ - راكب شاحنة ☐	١ - على جانب الشارع مجاناً ٢ - على جانب الشارع بأجرة ٣ - في ساحة مجاناً ٤ - في ساحة بأجرة ٥ - متعدد الأدوار مجاناً ٦ - متعدد الأدوار بأجرة ٧ - خدمة أو إصلاح ٨ - ملكية سكنية ٩ - في حركة مستمرة ٠ - لم يوقف سيارته ☐
☐☐	☐☐	☐☐	١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ☐	☐☐	☐☐☐	☐☐☐	صباحاً مساءً ☐☐☐	١ - العمل .... ١ ٢ - أعمال خاصة .. ٢ ٣ - طبي ، أسنان.. ٣ ٤ - مدرسة .... ٤ ٥- اجتماعي ترفيهي ٥ ٦- تغيير واسطة النقل ٦ ٧ - مطعم ٧ ٨ - التسوق ٨ ٠ - المنزل ٠ ☐ ☐	☐	☐	١ - يقود سيارته ٢ - راكب في سيارة ٣ - نقل عام حافلة ٤ - راكب سيارة أجرة ٥ - راكب شاحنة ☐	١ - على جانب الشارع مجاناً ٢ - على جانب الشارع بأجرة ٣ - في ساحة مجاناً ٤ - في ساحة بأجرة ٥ - متعدد الأدوار مجاناً ٦ - متعدد الأدوار بأجرة ٧ - خدمة أو إصلاح ٨ - ملكية سكنية ٩ - في حركة مستمرة ٠ - لم يوقف سيارته ☐

الشكل (٤,١٤)(نموذج استبيان لدراسة بدايات الرحلات ونهايتها.

(Courtesy of Illinois Department of Highways, Springfield, Illinois.)

إدارة الطرق بولاية إلينوي
دراسة المرور في أيربانا - شامبين

ملخص الوحدة السكنية

عنوان المقابلة ---------------- رقم البطاقة ----------
التعريف ---------------- المسافة من وسط المدينة التجاري ----------
عنوان الشارع ---------------- الصنف الإجتماعي والإقتصادي ----------
رقم العينة ----------
تاريخ التنقل ---------------- المنطقة ----------

أ - كم عدد السيارات الخاصة المملوكة لهذا المنزل؟ ----------
ب - نوع وسنة إنتاج كل سيارة . ---------- (النوع السنة النوع السنة النوع السنة)
ج - كم عدد الأشخاص الذين يعيشون هنا؟ ----------
د - كم عدد الأشخاص الذين تزيد أعمارهم على ٥ سنوات؟ ----------
هـ - منذ متى تعيش هنا؟ ----------
و - معلومات الوحدة السكنية

رقم الشخص	العرق والجنس	تعريف الشخص	العمر	الرمز	المهنة والصناعة	الرحلات نعم	الرحلات لا
١							
٢							
٣							
٤							
٥							
٦							
٧							
٨							
٩							
١٠							

ز - العدد الكلي للرحلات المسجلة في هذا المنزل ----------
١ - عدد الأشخاص الذين يقومون بالرحلات ----------
٢ - عدد الأشخاص الذين لايقومون برحلات ----------
٣ - عدد الأشخاص الذين لاتعرف رحلاتهم ----------

ح - ملاحظات والأسباب إذا لم تكن المعلومات مكتملة . ----------
ط - العامل ----------

للاستخدام الرسمي فقط

مُجري المقابلة ----------

المكالمات

	التاريخ	الوقت
(١)		
(٢)		
(٣)		
(٤)		

إذا سلم التقرير غير مكتمل

التاريخ ----------
السبب ----------
ملاحظة المشرف ----------
ملاحظات ----------
اكتمال التقرير ---------- التاريخ ---------- التوقيع
مراجعة التقرير ---------- التوقيع
الترميز ---------- التوقيع
مراجعة الترميز ---------- التوقيع

تابع الشكل (١٤,٤).

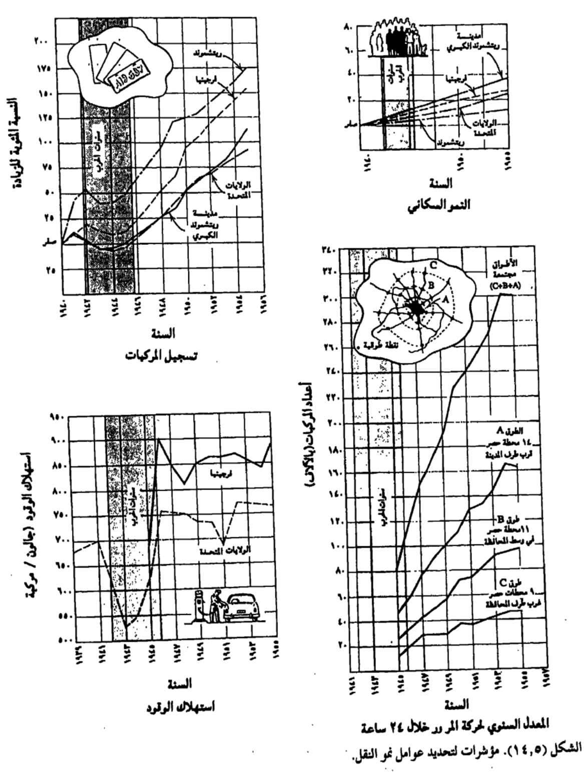
التحليـــــل والتنبـــؤ : تولـــد الرحـــلات
ANALYSIS AND PROJECTION : TRIP GENERATION

تقدير الطلب المستقبلي Projection of Future Demand. تحلّل البيانات التي جمعت للحصول على صورة معقولة الدقة لكل من الأحجام المرورية الحالية وأغراض الرحلات وتوليد الرحلات لكل منطقة جزئية أو حي، وأنماط التدفق وتوزيع الرحلات المتولدة في أي حي على الأحياء الأخرى. إننا سنؤخر الحديث عن مسألة تحديد الفائض أو النقص في السعة للمسارات والمرافق القائمة والتي يجب أن تسبق خطوة البحث عن حلول للاحتياجات الحالية أو المستقبلية حتى نهاية هذا الفصل.

وتشمل الخطوات التالية كلاً من تقدير تولد الرحلات وتوزيعها في تاريخ لاحق، وذلك لتحديد الطلب المستقبلي الذي يؤخذ عادة بعد ٢٠ سنة من تاريخ إجراء الدراسة. ويمكن التنبؤ بالتدفق المروري والطلب المستقبلي بناء على اتجاهات البيانات التاريخية السابقة. ولا تتوافر هذه البيانات دائماً بالتفصيل والدقة الكافيين. وقد استحدثت طرق أخرى تشمل استخدام عوامل النمو ومحددات الرحلات. وتوفر النماذج الرياضية لاستخدامات الأراضي وسيلة يمكن بها إيجاد العلاقات بين عدد من العوامل المستقبلية التي تشمل استخدامات الأراضي وأنشطة التوظيف والسكان وزمن الانتقال.

عوامل النمو البسيط Simple Growth Factors. يمكن الحصول على عوامل النمو البسيط المفيدة في دراسات المدن الصغيرة عن طريق مد الاتجاهات السائدة في الزيادات في السكان أو ملكية السيارات واستخدامها أو مستوى الأنشطة الاقتصادية والتجارية أو العوامل الأخرى التي يمكن أن تكون لها علاقة، وحساب نسبة الأنشطة المستقبلية إلى الحالية أو نسبة النمو لكل منها على حدة. وهذه النسب الفردية تضرب ببعضها للحصول على عامل زيادة واحد يُضرب، بدوره، بالطلب وتولد الرحلات الحالي للحصول على الطلب وتولد الرحلات في سنة الهدف. انظر الشكل (٥,١٤).

وعلى سبيل المثال، فإن عامل النمو للحركة المرورية للسيارات قد يبنى على النمو السكاني وملكية السيارات ومعدل استهلاك الوقود لكل نسمة. ولنفترض أن عدد السكان الحالي هو ٢٠٠٠٠ نسمة والمستقبلي هو ٢٨٠٠٠ نسمة، وأن ملكية السيارات قد زادت من ١٢٠٠٠ إلى ١٨٠٠٠ سيارة، وأن معدل استهلاك الوقود لكل نسمة (وهو مقياس لاستخدام السيارة) قد زاد من ٧٠٠ جالون للشخص إلى ٨٠٠ جالون للشخص. ومن الواضح أن عوامل النمو لكل منها هي ١,٤ ، و١,٥ ، و١,١ على الترتيب. ويعطي حاصل ضرب هذه العوامل ببعضها عامل نمو إجمالي قدره ٢,٣ . وإذا كانت المسوحات الميدانية قد أظهرت أن الطلب الحالي هو ١٦٠٠٠ رحلة - مركبة في اليوم فإن طلب الرحلات المستقبلي سيكون ١٦٠٠٠ × ٢,٣ = ٣٦٨٠٠ رحلة- مركبة في اليوم. وللحصول على تولد الرحلات المستقبلي لكل منطقة جزئية أو حي من أحياء منطقة الدراسة، يُضرب تولد الرحلات الحالي في كل منها في معامل النمو الإجمالي نفسه، أي ٢,٣ . وإذا كان مجموع تولد الرحلات المستقبلي لجميع الأحياء يساوي ٣٦٨٠٠ تقريباً فقد يكون لدينا درجة معقولة من الثقة في هذا التقدير المبدئي، إلا أننا قد لا نصل



الشكل (١٤,٥). مؤشرات لتحديد عوامل نمو النقل.

(Courtesy of Harland Bartholomew and Associates, St. Louis Missouri.)

إلى تطابق معقول بسبب العيوب والأخطاء الذاتية الواضحة في هذه الطريقة. وتساعد الطرق التي سنشرحها في جزء لاحق من هذا الفصل على الحصول على دقة أعلى في النتائج.

مُحدّدات الرحلات وتحليل الانحدار Trip Determinants and Regrssion Analysis. تربط الأساليب الأحدث بين مستوى تولد الرحلات ونوع استخدام الأرض وكثافته. وهذا يتطلب درجة معقولة من الدقة في تقدير استخدامات الأرض مستقبلياً، إلا أنه يمكن تحديد ذلك بدرجة معينة من الثقة. وبما أنه من المسلم به أن تولد الرحلات (الطلب) يرتبط بعلاقة مباشرة مع استخدام الأرض، فإنه يمكن الحصول على تقديرات مستقبلية أكثر واقعية من خلال هذا الأسلوب بدلاً من محاولة التنبؤ بتولد الرحلات والطلب مباشرة من التولد الحالي للرحلات كما هو متبع في طريقة عوامل النمو. وتتطلب هذه الطريقة تحديد العلاقة بين كل نوع معين من استخدامات الأراضي وعدد الرحلات المتولدة منها. كما يجب، أيضاً، تمييز خصائص كل نوع من استخدامات الأراضي التي تحدد توليد (أو جذب) الرحلات من حيث التأثير الكمي لكل منها.

ويتم تطوير معادلات رياضية تربط بين توليد الرحلات كمتغير تابع لنوع استخدام الأرض وخصائصه، وذلك من خلال تحليل الانحدار الخطي. وباستخدام البيانات الحالية عن استخدام الأرض والسكان وخصائص تولد الرحلات أو المتغيرات المستقلة، وأحياناً تسمى محددات الرحلات، يُحدّد عدد الرحلات التي ستتولد من خلال الخاصية المعينة لاستخدام الأرض الخاضع للدراسة.

وتفترض معادلات الانحدار المستعملة عادة وجود علاقة خطية بين المتغير التابع والعوامل التي يعتمد عليها، بمعنى:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \cdots + a_n X_n + U$$

حيث يفترض أن Y (عدد الرحلات، على سبيل المثال) هي دالة خطية في المتغيرات المستقلة X_1 و X_2 و X_n – مثل عدد أفراد الوحدة السكنية أو عدد السيارات المملوكة للوحدة السكنية أو مستوى دخل العائلة أو البعد عن وسط المدينة التجاري – وبحيث إن U ترمز للخطأ العشوائي الذي يحدث عند جمع البيانات. أما المعاملات a_0 و a_1 و a_n فتُختار قيم مناسبة لها حيث يكون مجموع مربعات الأخطاء، U^2، بين القيم الفعلية والمقدرة أقل ما يمكن. ويشير المعامل a لأي متغير مستقل X إلى مقدار التغير المتوقع في قيمة المتغير التابع Y عند تغير قيمة X بوحدة واحدة. وتعتمد دقة هذه الطريقة جزئياً على مدى شمول المعادلة لجميع العوامل التي يمكن أن تسبب حدوث تباين كبير في قيم المتغير التابع.

وبذا، يتم تحليل الحركة المرورية الممكن تولدها من استخدام معين للأرض بسكانها وتحديدها. وفور تحديد قيم المعاملات في المعادلة لاستخدام معين للأرض بخصائصها، فكل ما نحتاج القيام به هو التعويض في المعادلة بالقيم المقدرة لاستخدام الأرض والخصائص المستقبلية في سنة الهدف وحساب عدد الرحلات التي ستتولد أو ستنجذب. ونقطة الضعف الأساسية لهذه الطريقة هي افتراض أن قيم المعاملات التي تحدّد اليوم ستبقى ثابتة وصحيحة لاستخدامها في سنة الهدف أيضاً، إذ إن هناك عدة عوامل قد تؤثر تأثيراً خطيراً على دقة هذه المعاملات عند استعمالها لاحقاً في سنة الهدف مثل التغير في التقنية والعادات الاجتماعية وغيرها.

ويحدد نوع استخدام الأرض الغرض من القيام بالرحلة إلا أن قرار القيام بالرحلة لذلك الغرض من عدمه يتم داخل الوحدة السكنية أو المنزل ، إذ إن الوحدة السكنية هي الوحيدة التي تملك القدرة على اتخاذ مثل تلك القرارات . وعلى وجه الخصوص ، فقد وجد أن معدلات القيام بالرحلات تعتمد أساساً على أعداد القاطنين في الوحدة السكنية وأعمارهم . كما أن ملكية السيارة ، أيضاً ، تؤثر مباشرة على القيام بالرحلات .[٢] وتعكس ملكية السيارات مقدار الدخل للوحدة السكنية . وعموماً ، يزيد عدد رحلات الوحدة السكنية بازدياد ملكية السيارات من صفر إلى ٣ سيارات أو أكثر ، ولكن بمعدل زيادة تناقصي . وتشمل العوامل المؤثرة الأخرى طول الرحلة والبعد عن وسط المدينة التجاري والوضع الاجتماعي لأفراد الوحدة السكنية ، حيث ترتبط هذه العوامل نوعاً ما بتوليد الرحلات ، ولكن ، هناك ارتباط معين بين هذه العوامل وتركيب الوحدة السكنية وملكيتها للسيارات . ويبين الشكل (٦ ; ١٤) تأثير تركيب الوحدة السكنية وملكية السيارات على توليد الرحلات .

ونذكر فيما يلي مثالاً بسيطاً لمعادلة حُصل عليها من تحليل الانحدار لبيانات منطقة دراسة يبلغ سكانها ٨٠٠٠٠ نسمة وقُسّمت إلى ٥٨ منطقة إحصاء مروري :

$$T = -0.627 + 1.216\, P$$

حيث إن :

T = متوسط العدد اليومي لرحلات المركبات المنطلقة من المنزل لكل وحدة سكنية .

P = عدد الأشخاص الذين تزيد أعمارهم على خمس سنوات لكل وحدة سكنية .[٣]

وإذا قُدر أن الوحدة السكنية المتوسطة ستحتوي بعد ٢٠ سنة من الآن على ثلاثة أشخاص تزيد أعمارهم على خمس سنوات ، فبالتالي ، يمكن تقدير العدد اليومي لرحلات المركبات المنطلقة من المنزل على النحو التالي :

T = - ٦٢٧ , ٠ + ٢١٦ , ١ × ٣ = ٣٠٢١ رحلة

أما المثال الآخر على هذه الطريقة فهو لمعادلة طُوّرت أثناء دراسة النقل في منطقة مدينة شيكاغو الأمريكية والتي تعطي عدد رحلات النقل العام كنسبة مئوية من مجموع الرحلات لمنطقة مرورية من مناطق الدراسة :[٤]

$$Y_{178} = 19.7331 + 0.0610\, X_7 + 0.0365\, X_8$$

حيث إن :

Y_{178} = النسبة المئوية لرحلات النقل الجماعي من مجموع عدد الرحلات المنطلقة من منطقة مرورية معينة .

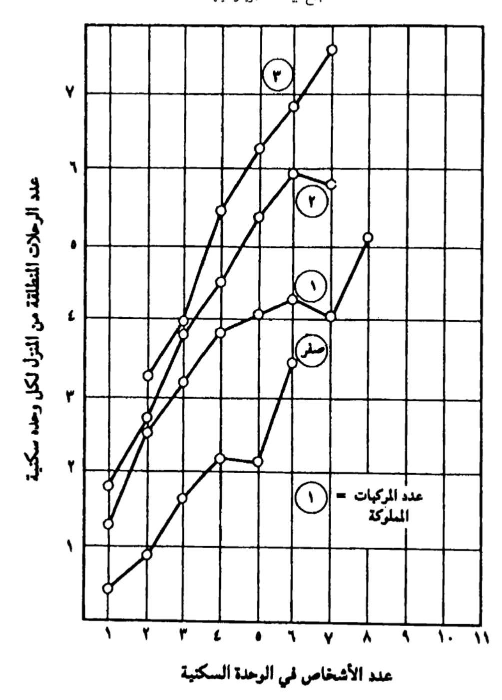
X_7 = الكثافة السكانية الصافية .

X_8 = عدد السيارات لكل ١٠٠٠ شخص من السكان .

(٢) Walter Y. Oi and Paul W. Schuldiner, An Analysis of Urban Travel, The Transportation Center at Northwestern University, Northwestern University Press, Evanston, Illinois, 1962, p. 74 .

(٣) المرجع السابق نفسه، ص ٢١٦ .

(٤) Robert Sharkey, "Mass Transit Usage", C.A.T.A. News, Vol. 3, No. 1, The Chicago Area Transportation Study, Chicago, Illinois, 9 January 1959.



الشكل (٦,١٤). تركيب الوحدة السكنية وملكية السيارات مقابل الرحلات المتولدة.
(From *an Analysis of Urban Travel Demands* by Walter Y. OI and Paul W. Shuldiner, Courtesy of The Northwestern University Press, Evanston, Illinois, 1962, p. 91, Figure 10.)

ويعرض الجدول (١ و ١٤) عديداً من المعادلات الرياضية التي تربط مختلف الخصائص السكانية وخاصة الكثافة مع إمكانية تولد الرحلات.

ولأن كل منطقة دراسة لها خصائصها الذاتية من حيث السكان والتضاريس ومستوى الدخل . . . إلخ، فإن المعاملات التي تُطوّر لمنطقة دراسة معينة قد لا تكون مناسبة لاستخدامها في منطقة دراسة أخرى (اللهم إلا للحصول على تقديرات أولية عامة جداً).

وبالإضافة للمناطق السكنية، هناك مولدات رئيسية أخرى تشمل مراكز التسوق والمصانع ووسط المدينة التجاري والمطارات. وفي بعض المدن، قد يكون الحي الجامعي مولداً رئيسياً للرحلات، وفي مناطق أخرى، قد يقوم الإستاد الرياضي بهذا الدور. وحيث إن عوامل تركيب الأسرة وملكيتها للسيارة ودخلها وبعدها عن وسط المدينة التجاري، على سبيل المثال، تستخدم متغيرات لتفسير تولد الحركة في المناطق السكنية، فإنه يجب استخدام عوامل أخرى عند الأخذ في الاعتبار الاستخدامات الأخرى للأراضي. وقد استخدمت عوامل حجم التوظيف والعمالة ومساحة مسطحات المباني وحجم المبيعات في دراسة الأنشطة التجارية. كما استخدمت عوامل التوظيف وحجم الإنتاج للجمعيات الصناعية. ويمكن قسمة قيم هذه العوامل على مساحة الأرض التي تشغلها الأنشطة لمعرفة تأثير الكثافة. وأحياناً، تستخدم جداول توضح نهايات الرحلات (الجذب) لكل فدان من الاستخدامات المختلفة للأرض. كما يمكن تصنيف هذه مرة أخرى حسب بعدها عن مركز المدينة أو حسب جنس القائم بالرحلة أو حسب نوع واسطة النقل المستخدمة. . . إلخ. ويبين الجدول (٢ و ١٤) مثالاً لذلك وهو قائمة بمعدلات تولد الرحلات. وعلى أي حال، فإن الغاية هي تحديد علاقة موجبة بين كمية إستعمال الأرض ونوعها وكثافتها ومقدار تولد الرحلات حالياً أو مستقبلياً. ويمكن للقارئ الرجوع إلى المراجع المذكورة في الحواشي خصوصاً الحاشية رقم (٢) وإلى قائمة القراءات المقترحة في نهاية الفصل لمزيد من التفصيل لهذه الطرق.

نماذج استخدامات الأرض Land-Use Models. هناك منفعة أكيدة للقدرة على التنبؤ بنوع تطوير استخدام الأرض ومداه وما ينشأ عن ذلك من طلب على النقل. كما أن النقل يمكن أن يؤثر، بدوره، على معدل تطوير الأرض ونوعه (على سبيل المثال؛ فإن التوسع والانتشار الأفقي العشوائي للمدن ما كان ليحدث لولا وجود السيارة!) تأثيراً أساسياً من خلال توفير سهولة الوصول بقيود معقولة.

وقد ظهرت نماذج رياضية مختلفة لاستعمالات الأرض وذلك لتلبية هذه الحاجة. وهذه النماذج على درجات متفاوتة من التعقيد، وقد تتطلب معطيات أو مدخلات يصعب تقويمها كمياً. وتشمل هذه نماذج مكتملة التطوير جاهزة للاستخدام في الدراسات المستمرة للمواقع، ونماذج أخرى نظرية على شكل مفاهيم وأفكار تشكل أساساً للبحث والتطوير أو أنها مفيدة فائدة أساسية للإشارة إلى الاتجاهات ومقادير النمو النسبية، ولكنها تفتقر لصياغتها بلغة الأرقام. وتهدف جميع النماذج للتعبير عن العلاقات بين الأراضي المستخدمة والمتاحة للسكان والأراضي المستخدمة والمتاحة للتوظيف والأعمال ومدى ملاءمة شبكة النقل وتقنياتها التي تربط بينهما وتوفر سهولة الوصول بين هذين النوعين من استخدامات الأراضي، ويقاس مدى الملاءمة من خلال زمن الانتقال على الشبكة. وهناك نماذج معينة تدرك أن كلاً من فرص التوظيف في التجارة والصناعة ومستويات السكان تتأثر على مر الزمن بالهجرات

الجدول (١٤,١): تأثيرات الكثافة علي إجمالى تولد الرحلات: أمثلة توضيحية.

الدراسة	السنة	رقم المعادلة	المعادلة[أ]	معامل الارتباط (ر)
بين عديد من المدن:				
«الطرق المستقبلية والنمو الحضري»	١٩٦١م	أ	$Y_1 = 2.7 - 1.17 X_1$	بالنظر
«بعض جوانب النقل المستقبلي في المناطق الحضرية»	١٩٦٢م	ب	$Y_1 = 2.6 - X_6$	بالنظر
		جـ	$Y_1 = 2.6 - (0.092) X_1 / X_3 (10^{-3})$	بالنظر
داخل المدن:				
«دراسة النقل لمنطقة ديترويت»	١٩٥٣م	د	$Y_2' = 15.07 - 4.23 \log X_2$	٠,٧٥-
		هـ	$Y_2' = 1.87 + 4.26 \log X_4 - 1.60 \log X_2$	٠,٨٣
«دراسة العوامل المتعلقة بالتنقل الحضري»(ب، جـ)	١٩٥٧م	و	$Y_2 = 7{,}22 - 0.013 X_2$	٠,٧٢
		ز	$Y_2 = 4.33 + 3.89 X_3 - 0.005 X_2 - 0.128 X_4 - 0.012 X_5$	٠,٨٤
		ح	$Y_2 = 3.80 + 3.79 X_3 - 0.0033 X_2$	٠,٨٤
«دراسة النقل لمنطقة مدينة سانت لويس»	١٩٥٩م	ط	$Y_6 = 0.261 - 0.017 X_7$	لم يذكر
«دراسة النقل لمنطقة مدينة شيكاغو»	١٩٥٦م	ي	$Y_4 = 6.64 - 2.43 \log X_2$	٠,٩٥-
		ك	$Y_5' = 4.32 - 1.90 \log X_2$	٠,٩٦-
		ل	$Y_2 = 11.80 - 4.246 \log X_2$	٠,٩٧-
		م	$Y_3 = 7.34 - 3.29 \log X_2$	٠,٩٦-
«دراسة النقل لمنطقة مدينة بتسبرج»		ن	$Y_2 = 9.62 - 4.19 \log X_2$	٠,٨٨-
		س	$Y_3 = 5.55 - 2.64 \log X_2$	٠,٩١-
		ع	$Y_4 = 5.02 - 2.17 \log X_2$	٠,٨٧-
		ف	$Y_5 = 3.35 - 1.35 \log X_2$	٠,٩٠-

تابع الجدول (١٤,١): تأثيرات الكثافة علي إجمالي تولد الرحلات: أمثلة توضيحية.

(أ) المتغيرات التابعة :

Y_1 مجموع الرحلات-شخص الداخلية لكل نسمة

Y_2 رحلات-شخص لكل عائلة

Y'_2 رحلات-شخص لكل مكان سكني

Y_3 رحلات-سيارة لكل عائلة

Y_4 نهايات رحلة-شخص لكل مكان سكني

Y_5 نهايات رحلة-سيارة لكل مكان سكني

Y'_5 نهايات رحلة-مركبة لكل مكان سكني

Y_6 الرحلات المدرسية لكل شخص

(ب) المتغيرات المستقلة :

X_1 الكثافة الإجمالية للمنطقة الحضرية

X_2 عدد الأماكن السكنية لكل فدان من المناطق السكنية

X_3 عدد السيارات لكل وحدة سكنية

X_4 البعد عن وسط المدينة التجاري

X_5 دخل العائلة

X_6 (عدد المساكن لكل سيارة) × الكثافة السكانية للمنطقة الحضرية × ١٠-٣

X_7 عدد السكان بالآلاف لكل ميل مربع

(جـ) Public Roads, Vol. 29, No. 7 (April, 1957) Based on Washington D. C. Source: Herbert S. Levinson and Houston Wynn, "Effects of Density on Urban Transportation Requirements", Community Values Affected by Transportation, Highway Research Board, Washington, D. C., Highway Research Record, No. ? (1963), p. 49 .

الجدول (١٤,٢): معدلات توليد الرحلات: دراسة النقل بمنطقة مدينة شيكاغو(أ).

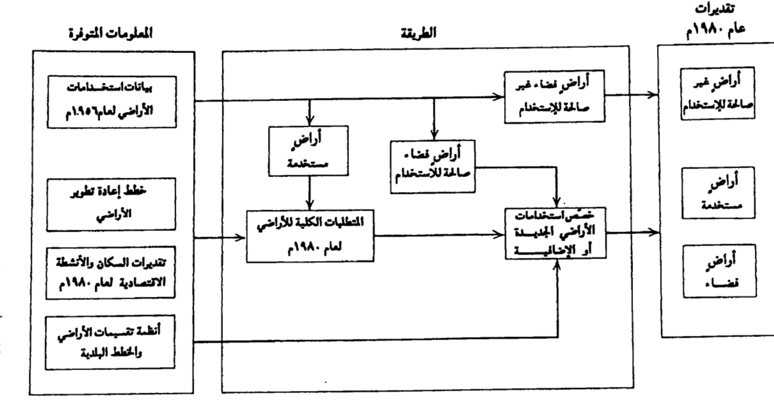
رقم الدائري	متوسط المسافة من وسط المدينة(ميل)	عدد نهايات الرحلات لكل فدان				
		مرافق النقل	المرافق الصناعية	المرافق التجارية	المباني العامة	المتنزهات العامة
صفر	صفر	٢٧٣,١	٣,٥٤٤,٨	٢,١٣٢,٢	٢,٠١٣,٨	٩٨,٥
١	١,٥	٣٦,٩	٢٤٣,٢	١٨٨,٦	٢٥٥,٥	٢٨,٨
٢	٣,٥	١٥,٩	٨٠,٠	١٢٢,١	١٢٣,٥	٢٦,٥
٣	٥,٥	١٠,٨	٨٦,٩	١٤٣,٤	١٠٠,٧	٢٧,٨
٤	٨,٥	١٢,٨	٥٠,٩	٢١٢,٤	٧٧,٧	١٣,٥
٥	١٢,٥	٥,٨	٢٦,٨	١٧٨,٧	٥٨,١	٦,١
٦	١٦,٠	٢,٦	١٥,٧	١٣٢,٥	٢٦,٦	٢,٥
٧	٢٤,٠	٦,٤	١٨,٢	١٣١,٩	١٤,٤	١,٥

(أ) Guidelines for Trip Generation Analysis, FHA, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., June 1967, p. 16.

الداخلية والهجرات الخارجية والانتعاش أو الكساد الصناعي، وبمعدلات الولادات والوفيات والشيخوخة. كما يمكن، أيضاً، الأخذ في الاعتبار العوامل الاجتماعية التي يصعب دائما تقويمها، من حيث تأثيرها على توافر الأراضي، وذلك من خلال الطبقة الاجتماعية ومستوى الدخل وعدد أفراد العائلة ومكان عمل أفراد الأسرة. ويتعامل بعض النماذج منفصلاً مع فرص العمل التي تتغير بفعل قوى داخلية، وتلك التي تعتمد على عوامل خارجية والأسواق الموجودة خارج منطقة الدراسة. ويتكرر بعض النماذج مع الوقت، أي أن مخرجات النموذج ونتائجه في وقت معين تستعمل معطيات ومدخلات للنموذج نفسه للتنبؤ المستقبلي في وقت لاحق. وعادة ما تدخل عوامل النقل في النماذج على شكل الفصل المكاني المقاس بزمن التنقل. وعموماً، تقود الأزمان الأقل للتنقل إلى زيادة فرص الأنشطة وزيادة الطلب على سعة النقل. وتحتوي القراءات المقترحة في نهاية الفصل على دراسات مفصلة لهذا الموضوع و هي تعد خارج نطاق هذا الكتاب.

دراسة النقل لمنطقة شيكاغو Chicago Area Transportation Study. تعد دراسة النقل التي أعدت لمنطقة شيكاغو في الولايات المتحدة معلماً بارزاً في عملية تخطيط النقل، وذلك من خلال استخدامها لأساليب متفوقة على الأساليب المستخدمة سابقاً، وإدخالها طرقاً أخرى خلافاً لاستعمال عوامل النمو التي توازن بين بيانات بدايات الرحلات ونهاياتها فحسب. وقد ركزت الدراسة على تحديد تولد الرحلات من حيث الغرض من الرحلة واستخدامات الأرض المرتبطة بذلك. ولم يكن هناك نموذج لاستخدام الأرض بمعنى الكلمة، ولكن كان هناك نظام لحساب استخدام الأرض يعطي عدد السكان والفرص الوظيفية في سنة الهدف المستقبلية. وقد قُسّمت منطقة الدراسة إلى شبكة من المربعات بمساحة ربع ميل مربع لكل منها وبطول ضلع قدره نصف ميل، وجرى تصنيفها إلى عشرة استخدامات هي الاستخدامات السكنية والصناعية والتجارية والمباني الحكومية ومرافق النقل والشوارع والمتنزهات العامة ومواقف السيارات واستعمالات أخرى متنوعة، بالإضافة إلى الأراضي البور غير المستخدمة. وقد قيست درجة الاستعمال المعين للأرض بالكثافة السكانية والمساحة المستخدمة من الأرض. وتم التنبؤ بالنمو السكاني من اتجاهات النمو على المستوى القومي، وجرى توزيع السكان على الأراضي السكنية على أساس قدرتها الاستيعابية. و افترضت الدراسة أن المناطق المكتملة النمو ستبقى ثابتة نسبياً، وأن معظم النمو سيحدث في الضواحي وأطراف منطقة الدراسة، وأن الكثافة السكانية تقل مع زيادة المسافة عن وسط المدينة التجاري. كما افترض، أيضاً، أن الكثافة السكانية والنسب المختلفة لاستخدامات الأراضي من مجموع منطقة الدراسة ستبقى ثابتة حتى سنة الهدف المستقبلية. كما وُزّعت الأراضي البور على الاستخدامات المختلفة على هذا الأساس. أما الفرص الوظيفية فقد بنيت على السعات المحددة من الكثافة المتوافرة لاستخدام الأراضي وعلى البعد من وسط المدينة التجاري. انظر الشكل (٧, ١٤).

وقد أثبتت الطرق المستخدمة في دراسة النقل لمنطقة شيكاغو إمكانية تطبيق مثل هذه الطرق عملياً. ونود توجيه القارىء لمراجعة تقارير الدراسة المكونة من ثلاثة مجلدات والتي لخصنا منها ما سبق والمذكورة كمرجع رقم ٩ في قائمة القراءات المقترحة في نهاية هذا الفصل.



الشكل (١٤,٧). رسم بياني مبسط لطريقة تقدير استخدامات الأراضي.

(Chicago Area Transportation Study, Volume 1, 1958.)

توزيـع الرحــلات
TRIP DISTRIBUTION

بعدما حددنا حجم الحركة من المناطق المرورية أو أية وحدة أخرى تحت الدراسة (ربما من خلال مسوحات المقابلات المنزلية)، وقدرنا حجم هذا الطلب المروري في تاريخ مستقبلي معين باستخدام عوامل النمو أو باستخدام محددات الرحلات وتحليل الانحدار، فإن الخطوة التالية هي تحديد كيفية توزيع هذه الرحلات بين المناطق المرورية أو الأحياء المختلفة. وسنشرح الآن طرق القيام بمثل هذا التوزيع باستخدام تطبيق عوامل النمو في واحدة من الطرق، وباستخدام ما يسمى بنموذج الجاذبية في طريقة أخرى.

طريقة فراتر Frater Method. في طريقة فراتر لتوزيع الرحلات، يستخدم المتوسط الحسابي للرحلات المتوزعة من المناطق المرورية i و j بحيث يعطى وزن لكل زوج منها باستخدام النسبة بين الرحلات المتوقع تبادلها بين المنطقتين المروريتين i و j إلى مجموع جميع الرحلات المتوقع تبادلها من كل منها إلى جميع المناطق المرورية الأخرى،(٥) بمعنى:

$$T'_{ij} = T_{ij} \times F_i \, F_j \left(L_i + L_j\right)/2$$

حيث إن:

T'_{ij} = الرحلات المتوقعة من المنطقة المرورية i إلى المنطقة المرورية j في سنة الهدف المستقبلية.

T_{ij} = الرحلات الحالية بين المنطقتين المروريتين i و j.

F_i = عامل النمو للمنطقة المرورية i = النسبة بين الرحلات المستقبلية إلى الرحلات الحالية المتولدة في المنطقة j.

F_j = عامل النمو للمنطقة المرورية j = النسبة بين الرحلات المستقبلية إلى الرحلات الحالية المنجذبة إلى المنطقة j.

L_i و L_j = عوامل مواقع المنطقتين المروريتين i و j، حيث

$$L_i = \frac{T_{ij}}{\sum_{j=1}^{j=n} T_{ij} \times F_i}$$

$$L_j = \frac{T_{ji}}{\sum_{i=1}^{i=n} T_{ij} \times F_j}$$

(٥) "Traffic Assignment and Distribution for Samll Urban Areas", Bureau of Public Roads, U. S. Department of Commerce, pp. IX-1 and IX-2, Washington, D. C., 1965.

وبذا، فإن مجموع الرحلات التي توزّع بهذه الطريقة من المنطقة i إلى جميع المناطق الأخرى j يجب أن يتساوى مع عدد الرحلات المقدر تولدها من المنطقة i. وبالمثل، فإن مجموع الرحلات المنجذبة إلى المنطقة j يجب أن يتساوى مع العدد المقدر لها. وإذا لم تتحقق تلك الشروط يجب تكرار العملية مرة ثانية (وحتى ثالثة) باستخدام قيم جديدة للعوامل F'_i و F'_j التي تساوي النسب بين عوامل النمو الأصلية وعامل النمو الممثل بمجاميع الرحلات المحسوبة الموزعة أو المنجذبة.

ولطريقة عوامل النمو عيوب ذاتية تؤدي إلى عدم دقة تقديراتها، إذ إن استخدامها يفترض وجود معدل نمو منتظم ومتساو لكل منطقة مرورية، ولكن نادراً ما تكون معدلات النمو منتظمة ومتساوية. فالمنطقة المرورية ذات الكثافة القليلة تملك إمكانية أكبر للنمو من منطقة مرورية مكتملة النمو. وفي الطريقة السابقة، فإن المنطقة المرورية الخالية تماماً من الأنشطة حالياً ستبقى كذلك ولا تنمو مطلقاً على مدى فترة ٢٠ سنة، والواقع أن خلوها من الأنشطة حالياً ربما يكون السبب الرئيسي لنموها نمواً مكثفاً. كما أن المنطقة المرورية المكتملة النمو ستظهر من خلال تطبيق عوامل النمو على أنها ستنمو نمواً كبيراً ربما يفوق سعتها الحقيقية. وهناك بعض التساؤلات عما إذا كانت البيانات الأساسية المستخدمة في هذه الطرق دقيقة لدرجة تكفي لتبرير إجراء العمليات الحسابية الإضافية اللازمة لضمان التطابق الكامل بين القيم المقدرة والمحسوبة.

نماذج الجاذبية Gravity Models. نظراً للتشابه المشكوك فيه بين توزيع الرحلات وقانون الجاذبية لنيوتن (Newton)، فقد سميت بعض طرق توزيع الرحلات باسم «نماذج الجاذبية»، وقد استخدمت هذه النماذج في البداية لحساب تبادل الرحلات بين المدن عبر الطرق التي تصل بينها وكانت تأخذ الصيغة التالية :

$$T_{xy} = \frac{(K)(P_x)(P_y)}{D^n}$$

حيث إن:

T_{xy} = الرحلات المتبادلة بين السكان P_x و P_y عند نقاط التجمعات السكانية x و y.

D = المسافة بين نقاط تجمعات السكان

n = الأس الجبري للمسافة

K = معامل

وتحدد قيم n و k بوساطة معايرة النموذج باستخدام بيانات معروفة.

وعند استخدام نموذج الجاذبية لتوزيع الرحلات الحضرية، يجب الأخذ بعين الاعتبار كل من قدرة الاستخدامات المتنوعة للأراضي على جذب الرحلات، وتأثيرات المسافة (والوقت) بين بدايات الرحلات ونهاياتها، وتأثير هذه العوامل على تحديد النسبة المئوية للرحلات المتولدة في منطقة مرورية معينة i و المنتهية في منطقة مرورية أخرى j. ويُحصَل على بيانات تولد الرحلات وتوزيعها في الوقت الحاضر بوساطة مسوحات المقابلات المنزلية، أما توزيع الرحلات المستقبلية فينبني على تولد الرحلات المقدرة باستخدام عوامل النمو أو تقديرات معادلات الانحدار.

نموذج مصلحة الطرق العامة (الأمريكية) Bureau of Public Roads Model. يمكن تعميم ما سبق حسب المعادلة التالية :[٦]

$$T_{ij} = T_i \times \frac{F_{ij} \times A_j \times K_{ij}}{\sum_{j=1}^{j=n} A_j \times F_{ij} \times K_{ij}}$$

حيث إن :

T_{ij} = الرحلات لغرض معين – كالعمل أو التسوق والترفيه، مثلاً – المتولدة في المنطقة المرورية i والمتجهة إلى المنطقة المرورية j .

T_i = مجموع الرحلات المتولدة في المنطقة i لغرض محدد وتساوي $\left(\sum_{n=1}^{j=n} T_{ij}\right)$

T_j = جاذبية المنطقة j للرحلات والمبنية على كل من عدد الرحلات المنجذبة لكل عدد من العاملين في المنطقة j وعدد رحلات التسوق لكل وحدة من الأنشطة التجارية أو ما شابهه، حسب غرض الرحلة التي تحت الدراسة .

F_{ij} = عامل زمن الانتقال الذي يعبر عن متوسط تأثير المسافة للمنطقة كلها على تبادل الرحلات .

K_{ij} = عامل يتيح تعديل الرحلات بين كل منطقتين مروريتين من أجل اعتبار تأثير بعض الأوضاع الاقتصادية أو الاجتماعية المعينة على نمط التنقل . وإذا أغفل هذا العامل، كما هو متبع غالباً، فإنه يأخذ القيمة واحد .

ويعبر عامل زمن الانتقال عن مقياس لاحتمال القيام بالرحلة لكل دقيقة إضافية من زمن الإنتقال بين منطقتي البداية والنهاية . وهو يتناسب عكسياً مع زمن الانتقال المرفوع لأس يتغير مع الزيادة في زمن الانتقال والغرض من الرحلة، أي $\left[F_{ij} = 1/t_{ij}^{n}\right]$ حيث :

t_{ij} = زمن الانتقال بين i و j بالدقائق

n = عامل يجب تحديد قيمته من خلال عملية تعديل أو معايرة .

ويُحصل على قيم المتغيرات المجهولة في نموذج مصلحة الطرق العامة عن طريق عملية التجريب والتعديل . وتستخدم عملية المعايرة بيانات معروفة من عينة مسحية لمنطقة الدراسة أو من بيانات دراسة لمنطقة أخرى مشابهة . وبتطبيق النموذج على بيانات المعايرة، يقوم المحلل بتعديل قيم المتغيرات المجهولة حتى تعطي توزيع الرحلات المعروفة . ومن ثم نفترض أن هذه القيم التي حصلنا عليها من المعايرة تبقى ثابتة للمنطقة بأكملها وحتى سنة التخطيط المستقبلية .

---

(٦) المرجع السابق نفسه .

وفي نموذج مصلحة الطرق العامة، فإن المعايرة معنية أساساً بتطوير مجموعة من عوامل زمن الانتقال للأنواع المختلفة من أغراض الرحلات التي تحت الدراسة. ويُحصَل على قيمة عامل زمن الانتقال عن طريق عملية التجريب والتعديل لكل دقيقة من زمن الانتقال في منطقة الدراسة.

وتؤخذ المعطيات الأساسية لنموذج الجاذبية من مسوحات المقابلات المنزلية لبدايات الرحلات ونهاياتها. وبذا يُحصَل على إنتاج الرحلات في المنطقة المرورية T_i، وجذبها للرحلات T_j. وفي تعريف الرحلات، يستخدم عموماً مفهوم الرحلة المتصلة، أي الرحلة الكاملة من منطقة البداية إلى منطقة النهاية، وذلك لغرض واحد محدد للرحلة بغض النظر عن التغيير من واسطة نقل معينة لأخرى أثناء عملية الانتقال. وهذا بعكس الرحلة المجزأة التي يعد كل جزء منها رحلة قائمة بذاتها. وتعد الرحلات التي يقع أحد طرفيها (بدايتها أو نهايتها) في منزل القائم بالرحلة رحلات تنتجها منطقة بداية الرحلة. وبالمثل، فإن الرحلات التي يقع أحد طرفيها (بدايتها أو نهايتها) في منطقة منزل القائم بالرحلة وطرفها الآخر في منطقة أخرى غير سكنية تعد رحلات منجذبة للمنطقة غير السكنية، أما الرحلات التي لا يقع أي من طرفيها في منطقة سكن القائم بالرحلة فهي رحلات منجذبة لمنطقة نهاية الرحلة.

ويُستنبط أقصر زمن للانتقال بين منطقتين، t_{ij} ، من المسوحات الميدانية التي يتم فيها تسجيل مسافة الانتقال وسرعته على الطرق الرئيسية لنظام النقل تحت الدراسة. ويعدّل زمن الانتقال الأصغر ليشمل زمن المحطة اللازم في كل من طرفي الرحلة. ولكل نقطة بداية (مركز المنطقة المرورية) يُحسب زمن الانتقال لجميع النهايات الأخرى على الطرق الرئيسة. وتنطوي هذه العملية على بناء ما يسمى بـ «الأشجار المتشعبة» وهي خطوة في توزيع الرحلات المرورية. وأفضل أسلوب للحصول على ذلك هو باستخدام برامج حاسوب معدة خصيصاً لذلك. ومن ذلك، يمكن إعداد رسم للتوزيع التكراري لطول الرحلة والذي يظهر النسبة المئوية من مجموع الرحلات في منطقة الدراسة، لغرض معين للرحلة، التي تحدث لكل دقيقة تزايدية من زمن الانتقال. بعد ذلك، يمكن الحصول على مجموع زمن الانتقال مقاساً بالمركبة-دقيقة لكل فترة زمنية تزايدية ولكل غرض للرحلة وواسطة نقل مستخدمة. وبقسمة مجموع المركبة - دقيقة للانتقال على عدد الرحلات من الصنف المعين الذي تحت الدراسة، يمكن الحصول على متوسط طول الرحلة الذي يستخدم لتحديد قيمة عامل زمن الانتقال F_{ij}. وفي عملية المعايرة، يجب القيام بما يلي :

١ - يمكن افتراض قيم مبدئية لعامل زمن الانتقال تساوي واحد، أي $F_{ij} = 1$ أو استخدام مجموعة من قيم العوامل المأخوذة من دراسة أخرى أجريت لمدينة شبيهة بالمدينة التي تحت الدراسة من حيث حجمها وخصائصها.

٢ - يُعوّض بهذه القيم في معادلة نموذج الجاذبية للحصول على جدول يبين الحركة بين كل منطقتين مروريتين، أي الحصول على قيم T_{ij}.

٣ - ترسم النسبة المئوية للرحلات لكل غرض معين للرحلة ولكل واسطة نقل تستخدمها على الشكل نفسه الذي سبق إعداده للتوزيع التكراري للرحلات. وبمقارنة التوزيع الفعلي (المأخوذ من حصر أنماط بدايات الرحلات ونهاياتها) والتوزيع المقدر بالنموذج، يمكن الحكم على درجة دقة قيم عوامل زمن الانتقال المبدئية وصحتها.

٤ - يجب أن يتطابق المنحنيان المذكوران في الخطوة السابقة تطابقاً تقريبياً بحيث يكون الفرق بين متوسط طول الرحلة (من حيث الوقت) لكلا المجموعتين من البيانات في حدود ±٣٪ . وإذا زاد عن ذلك تُعدّل عوامل زمن الانتقال لكل فترة تزايدية من زمن الانتقال، وذلك بنسبة الرحلات الفعلية (من المسوحات) إلى الرحلات المقدرة لكل فترة زمنية للانتقال، أي :

$$F_{adj} = F_{used} \times O - D\% / GM\%$$

حيث إن :

F_{adj} = قيمة عامل زمن الانتقال المعدلة للاستخدام في المحاولة التالية من المعايرة .

F_{used} = قيمة عامل زمن الانتقال المبدئية المستخدمة في المحاولة الأولى لمعايرة النموذج .

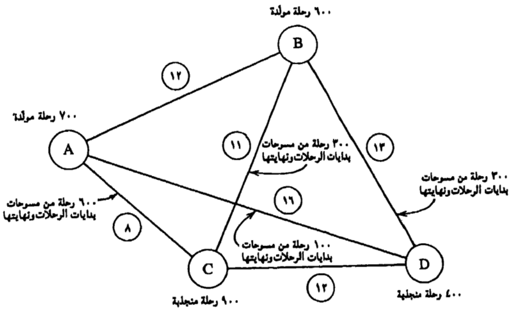
$O - D\%$ = النسبة المئوية للرحلات الفعلية من مسوحات بدايات الرحلات ونهاياتها المقابلة لطول الرحلة الزمني المناسب .

$GM\%$ = النسبة المئوية للرحلات المقابلة لطول الرحلة الزمني المناسب كما حُدّدت بتطبيق نموذج الجاذبية الذي يجري تحليله .

٥ - يمكن «تهذيب» قيم عوامل زمن الانتقال المعدلة، وذلك عن طريق رسمها مع ما يقابلها من الفترات التزايدية لزمن الانتقال على ورق لوغاريتمي للمحورين السيني والصادي، وذلك للحصول على أفضل خط مستقيم يمكن أن يمر عبر النقاط الذي يمكن منه تحديد مجموعة جديدة من قيم عوامل زمن الانتقال واستخدامها في المحاولة التالية للمعايرة. وعادة ما يتطلب القيام بثلاث محاولات للمعايرة كحد أقصى، وذلك للوصول إلى توافق معقول بين المنحنى الفعلي والمنحنى المقدر بالنموذج .

مثال توضيحي

إن أفضل طريقة لفهم الأسلوب العام لنموذج الجاذبية هي باستخدام مثال توضيحي . يبين الشكل (٨ و ١٤) شبكة نقل حضري مبسطة تربط بين منطقتين سكنيتين هما المنطقة A والمنطقة B اللتان تنتجان ٧٠٠ و ٦٠٠ رحلة عمل على الترتيب . وتمثل المنطقتان C و D مناطق فرص عمل تجذب إليها ٩٠٠ و ٤٠٠ رحلة على الترتيب . وتظهر أزمان الانتقال بين المناطق على الشبكة داخل الدوائر، كما يظهر على الشبكة أيضاً، التوزيع الفعلي للرحلات الذي حُصل عليه من دراسة بدايات الرحلات ونهاياتها . ولأجل هذا المثال، فسنستعمل قيماً أولية أو تجريبية لعوامل زمن الانتقال المقابلة لأزمان الانتقال المعطاة مأخوذة من المرجع المذكور في الحاشية رقم (٥) والخاص بمصلحة الطرق العامة الأمريكية (كما يمكن، أيضاً، استخدام قيمة واحد لجميع العوامل باعتبارها قيماً مبدئية) . والمطلوب هو الحصول على مجموعة لقيم عوامل زمن الانتقال التي ستعطي توزيعاً للرحلات مطابقاً تقريباً لتوزيع الرحلات الفعلي المشاهد من مسوحات بدايات الرحلات ونهاياتها . ويمكن استخدام هذه العوامل أنفسها فيما بعد للحصول على توزيع الرحلات في تاريخ مستقبلي معين .



الشكل (١٤,٨). شبكة نقل لتوضيح تطبيق نموذج الجاذبية

وسنورد عينة من الحسابات باستخدام نموذج الجاذبية، وذلك للرحلات بين المنطقتين A و C ، أي T_{AC} .

$$T_{AC} = ٧٠٠ \times \frac{١ \times ٨٥ \times ٩٠٠}{١ \times ١٠ \times ٤٠٠ + ١ \times ٨٥ \times ٩٠٠} = ٦٦٥ \text{ رحلة}$$

ويحتوي الجدول التالي على مجموعة الحسابات الكاملة للمحاولة الأولى لجميع وصلات الشبكة. وكما هي الممارسة، غالباً، فقد استخدمنا قيمة واحد للعامل K_{ij} في جميع الحسابات.

ويتضح من هذا المثال أن الرحلات المقدرة لا تتطابق مع الرحلات المشاهدة من مسوحات البداية والنهاية سواء لرحلات الوصلات الفردية أو للشبكة ككل. ومن الواضح أن هناك حاجة لمجموعة من عوامل زمن الانتقال المعدلة لمعايرة النموذج.

المسار	زمن الانتقال (دقيقة)	عامل زمن الانتقال (F_{ij}) (المبدئي)	(المعدل)	K_{ij}	الرحلات المقدرة (المبدئية)	(المعدلة)	الرحلات المشاهدة (من مسوحات البداية والنهاية)
AC	٨	٨٥	(٧٦,٥)	١	٦٦٥	(٦٠١)	٦٠٠
AD	١٦	١٠	(٢٨,٥)	١	٣٥	(٩٩)	١٠٠
BC	١١	٦١	(٤١,٥)	١	٤٣٩	(٣٠٠)	٣٠٠
BD	١٣	٥٠	(٩٣,٥)	١	١٦٠	(٣٠٠)	٣٠٠
مجموع الرحلات					١٢٩٩	(١٣٠٠)	١٣٠٠

وباستخدام طريقة مصلحة الطرق العامة الأمريكية، تحسب النسبة المئوية لرحلات البداية والنهاية المشاهدة (O–D%) لكل مسار من مجموع الرحلات، والنسبة المئوية للرحلات المحسوبة باستخدام نموذج الجاذبية على كل مسار من مجموع الرحلات (GM%)، وتُدخل في الجدول المبين أدناه. ومن هذه يُحْسَب عامل زمن الانتقال المعدل F_{ij}، حيث :

$$F_{i\,j\,adj} = F_{i\,j\,used} \times (O - D\% \;/\; GM\%)$$

المسار	النسبة المئوية لمجموع الرحلات المشاهدة (O–D%)	النسبة المئوية لمجموع الرحلات المحسوبة (GM%)	$\frac{O-D\%}{GM\%}$	$F_{i\,j\,adj}$
AC	٤٦,٢	٥١,٢	٠,٩٠	٧٦,٥
AD	٧,٧	٢,٧	٢,٨٥	٢٨,٥
BC	٢٣,١	٣٣,٨	٠,٦٨	٤١,٥
BD	٢٣,٠	١٢,٣١	١,٨٧	٩٣,٥

وباستخدام هذه القيم المعدلة للعوامل F_{ij}، تحسب مجموعة معدلة من الرحلات المقدرة وتدخل في الجدول الأول السابق كقيم بين قوسين.

وبينما تكون نتائج المحاولة الثانية المعدلة غير مطابقة للقيم المشاهدة تماماً، إلا أنها تمثل تحسناً ملحوظاً لمجموعة القيم الأولية لتوزيع الرحلات. ويرجع القرار بالاكتفاء بذلك أو القيام بمحاولة ثالثة إلى تقدير الباحث الشخصي لمدى الحاجة لذلك. لاحظ التقارب الكبير بين توزيع الرحلات المقدرة وتوزيع الرحلات المشاهدة في هذا المجال.

وعندما تتم معايرة النموذج ليعطي توزيعاً للرحلات مطابقاً للتوزيع المشاهد من بيانات المسوحات الفعلية، فإنه يمكن استخدامه للحصول على توزيعات الرحلات عند تاريخ مستقبلي معين، حيث يُحصل على قيم إنتاج الرحلات وجذب الرحلات من توقعات تولد الرحلات والحركة المرورية وتقديراته. كما يجب، أيضاً، تطوير قيم مناسبة لأطوال زمن الانتقال المستقبلية على الشبكة (أي الأشجار المتشعبة لزمن الإنتقال الأصغر على كل وصلة من الشبكة)، وذلك لتعكس الأوضاع المتوقعة مستقبلياً. ويفترض أن تبقى عوامل زمن الانتقال التي جرى الحصول عليها من معايرة النموذج ثابتة حتى سنة الهدف المستقبلية، كما يفترض، أيضاً، أن يبقى التوزيع التكراري لطول الرحلة الزمني ثابتاً لجميع أجزاء منطقة الدراسة.

ويجب توخي بعض الحذر عند استخدام نتائج نماذج الجاذبية وتفسيرها، فالنموذج يمثل، أساساً، عملية آلية لا تأخذ في الاعتبار التفاوت في السلوك البشري. ويُعد افتراض تطبيق نمط واحد متوسط للتنقل على جميع المناطق المرورية أمراً مشكوكاً في صحته. إذ يمكن أن يتغير زمن الانتقال حسب ساعات اليوم (للساعة ١٠ صباحاً وللساعة ١٠ مساء، على سبيل المثال) وحسب أيام الأسبوع حيث تكون الحركة خلال أيام العمل أكثر كثافة منها في نهاية

الأسبوع. كما قد لا يظل زمن الانتقال ثابتاً لرحلة ذات غرض معين لجميع أجزاء منطقة الدراسة. ومن الناحية الرياضية، فإن عدد الرحلات المتبادلة بين المناطق المرورية تقترب من ما لا نهاية، وعملياً تكون كبيرة جداً بشكل غير متناسب عندما تقترب المسافة بين المناطق المرورية من الصفر. كما يمكن للمرء أيضاً، أن يشكك في افتراض أن أنماط التنقل، أي تأثير الغرض من الرحلة والمسافة المكانية الفاصلة بين المناطق المرورية على توزيع الرحلات، ستبقى ثابتة حتى سنة الهدف المستقبلية.

نماذج أخرى Other Models. هناك نماذج أخرى تختلف عن نموذج الجاذبية وتستخدم مبدأ الاحتمالات بأنه يمكن تلبية الغرض من الرحلة عند نقطة معينة لها زمن انتقال أقصر من الزمن للمنطقة المرورية المتجهة إليها أصلاً. ويسمى هذا بنموذج الفرص الطارئة (Intervening Opportunities Model) الذي طُور واستعمل في دراسة النقل لمنطقة شيكاغو الأمريكية.[٧] ويقال إن هذا النموذج أكثر موثوقية من نماذج الجاذبية. وهذا النموذج مبني على احتمال أن يُلبّى غرض معين للرحلة عند نقطة طارئة قبل الوصول إلى منطقة الهدف. ويأخذ النموذج الصيغة الرياضية:

$$T_{ij} = T_i \left[e^{-Lt_o} - e^{-L(t_o+t_j)} \right]$$

حيث إن:

T_{ij} = عدد الرحلات المنطلقة من المنطقة المرورية i والمتجهة إلى المنطقة المرورية j

T_i = عدد الرحلات المنطلقة من المنطقة i.

t_j = عدد الرحلات الحالية المنجذبة إلى المنطقة j.

t_o = العدد الحالي (أو المستقبلي) لمناطق نهايات الرحلات الأقرب من حيث زمن الانتقال إلى المنطقة i من المنطقة j.

L = احتمال قبول كل منطقة واقعة بين منطقة البداية ومنطقة النهاية لتلبية الغرض من الرحلة الذي انطلقت الرحلة لتحقيقه. على سبيل المثال، قد توفر منطقة معينة فرص عمل أكثر من منطقة أخرى، وذلك لرحلات العمل.

e = الأساس اللوغاريتمي النيبري = ٢,٧١٨٢٨

ويتم حصر جميع مناطق نهايات الرحلات الممكنة وترتيبها على أساس زمن الانتقال. وتطور قيم المتغير (L) عن طريق عملية معايرة للمعادلة باستخدام قيم فعلية حُصل عليها من مسوحات بدايات الرحلات ونهاياتها.

تقسيم الرحلات بين وسائط النقل Modal Split. لا تكفي معرفة توليد الرحلات وتوزيعها والمنفعة التقنية والاقتصادية لتحديد الطلب. ويُعَدّ توفير السعة جهداً ضائعاً إذا لم يُستغل. لذا يجب، أيضاً، الأخذ بالاعتبار اختيار المستخدمين لوسائط نقلهم. ويعتمد اختيار واسطة النقل على عدة عوامل مثل مدة الرحلة وتكلفتها والراحة ومسافة المشي من

---

(٧) "Chicago Area Transportation Study", Vol. II, p. 111, 1960.

واسطة النقل وإليها، والافتقار لواسطة نقل بديلة (إما عدم وجود سيارة خاصة وبالتالي، يجب استخدام النقل العام، وإما عدم وجود خدمة نقل عام مما يتطلب استخدام السيارة الخاصة). ويصبح عامل الاختيار موضوعاً أكاديمياً نظرياً عندما لا توجد بدائل أخرى.

وقد عرضنا قبل قليل الطرق المتبعة لتوزيع الرحلات والتي يمكن استخدامها سواء ميّزنا بين وسائط النقل المستخدمة أو لم نميز بينها، وإذا لم يُمَيَّز بين وسائط النقل في تلك العملية، فإن الخطوة التالية ستكون تحديد حصص وسائط النقل المختلفة المتوافرة من الرحلات.

وعادة ماتقّسم الرحلات بين النقل العام واستخدام السيارة الخاصة، ولكن يجب عدم إغفال الرحلات التي تتم بالدراجات الهوائية وبالمشي.

وقد طورت أعداد من النماذج والطرق لهذا الغرض، وإحدى هذه الطرق هي طريقة منحنى التحول وهي سهلة التطبيق نسبياً، وقد استخدمت هذه الطريقة لتقدير متطلبات النقل في العاصمة الأمريكية واشنطن.[٨] وهي تعتمد على خمسة متغيرات مترابطة هي :

(أ) نسبة زمن الانتقال = زمن الانتقال من الباب إلى الباب بالنقل العام ÷ زمن الانتقال من الباب إلى الباب بالسيارة الخاصة.

$$= \frac{a+b+c+d+e}{f+g+h}$$

حيث إن :

a = الزمن داخل مركبة النقل العام.

b = زمن التحويل من مركبة نقل عام لأخرى.

c = زمن انتظار مركبة النقل العام.

d = زمن المشي (أو زمن قيادة السيارة) إلى مركبة النقل العام.

e = زمن المشي (أو زمن قيادة السيارة) من مركبة النقل العام.

f = زمن قيادة السيارة.

g = زمن التأخير للبحث عن موقف للسيارة في منطقة نهاية الرحلة.

h = زمن المشي من مكان الوقوف إلى المقصد النهائي للرحلة.

(ب) نسبة الخدمة = $\frac{\text{الوقت الزائد للنقل العام}}{\text{الوقت الزائد للسيارة}} = \frac{b+c+d+e}{g+h}$

(جـ) نسبة التكلفة = $\frac{\text{تعرفة النقل العام}}{\text{تكلفة السيارة لكل راكب}} = \frac{\text{تعرفة النقل العام}}{(i+j+0.5K)/L}$

(٨) Sosslau, Heanue, and Balek, "Evaluation of New Modal Split Procedures", Public Roads, U. S. Department of Commerce, Washington, D. C., Vol. 33, No. 1, pp. 5–17, April 1964.

حيث إن :

i = تكلفة البنزين = (جالون لكل ميل) × (تكلفة الجالون) × المسافة (بالميل) .

j = تكلفة تغيير الزيت والتشحيم لكل ميل من المسافة × المسافة (بالميل) .

K = تكلفة وقوف السيارة في منطقة نهاية الرحلة . .

L = عدد الركاب في السيارة الواحدة

(د) المستوى الاقتصادي = متوسط دخل الفرد العامل .

(هـ) الغرض من الرحلة = رحلات العمل المنطلقة من المنزل أو جميع الرحلات غير المرتبطة بالعمل (باستثناء الرحلات المدرسية) .

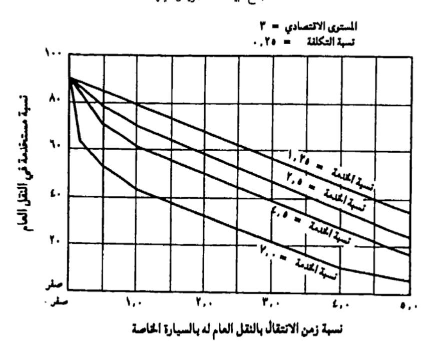
ومن المسوحات الخاصة بالمقابلات المنزلية ، يحصل على النسب المئوية من الرحلات باستخدام السيارات وباستخدام النقل العام لكل غرض من أغراض الرحلات ، وتربط بالمحددات السابقة . وتقسم نسب التكلفة ونسب الزمن إلى أربعة مستويات ، ويقسم مستوى الدخل إلى خمسة مستويات . وقد استخدمت خمسة مستويات للدخل في دراسة النقل بالعاصمة الأمريكية واشنطن وهي : (١) من صفر إلى ٢٤٩٩ دولاراً و (٢) من ٢٥٠٠ إلى ٣٩٩٩ دولاراً و (٣) من ٤٠٠٠ إلى ٥٤٩٩ دولاراً و (٤) من ٥٥٠٠ إلى ٦٩٩٩ دولاراً و (٥) ٧٠٠٠ دولار أو أكثر . وتجمع المحددات الأربع مع نسب الزمن الزائد ومستويات الدخل لتعطي ٨٠ نسبة زمنية ومنحنى تحول لكل غرض من أغراض الرحلات . ولكل واحد من هذه التركيبات الـ ٨٠ يمكن رسم النسبة المئوية لتقسيم الرحلات حسب واسطة النقل بيانياً مع نسب التكلفة وزمن الانتقال . انظر الشكل (٩ , ١٤) . ويفترض أن تبقى هذه العوامل المؤثرة أنفسها سارية في سنة الهدف المستقبلية . ويبدو أن نسبة مستوى الخدمة لها أهمية رئيسية في تقسيم الرحلات بين وسائط النقل في حين تؤدي نسب التكلفة دوراً ثانوياً، فقط . أما نسبة زمن الانتقال فهي حساسة بدرجة معقولة . انظر الشكل (٩ , ١٤) .

وتغفل هذه الطريقة أي اعتبار لرأي القائم بالرحلة من حيث الراحة أو التسهيلات أو المسار الذي تسلكه الرحلة . كما لا تأخذ بعين الاعتبار التكاليف الرأسمالية لامتلاك سيارة (ثمن شراء سيارة) إذ اقتصرت هذه الطريقة على تكاليف التشغيل النقدية ، فقط . ويجعل استبعاد هذه العوامل النتائج متميزة لصالح التنقل بالسيارة الخاصة .

وهناك أسلوب آخر مختلف استخدم في دراسة النقل لمنطقة شيكاغو يستخدم الانحدار الخطي لتوضيح العلاقات بين الكثافة السكنية وملكية السيارة واستخدام النقل العام ، كما شرحنا سابقاً في هذا الفصل .

تعيين الحركة المرورية
TRAFFIC ASSIGNMENT

إن تعيين الحركة المرورية طريقة لتقدير عدد الوحدات المرورية (الأشخاص ، الرحلات ، المركبات) التي ستستخدم كل جزء من شبكة نظام النقل سواء في الوقت الحاضر أو في سنة الهدف المستقبلية . وتحاول هذه العملية التمشي مع متطلبات القائم بالرحلة من حيث اختيار المسار الذي يوصل بأقصر زمن انتقال وأقل تكلفة وأكثر راحة . وغالباً ما يعكس زمن الانتقال التكلفة والراحة ، وقد أصبح عاملاً أساسياً في القيام بعمليات تعيين الرحلات . وقد صممت الطريقة أصلاً لاستعمالها لشبكات الطرق البرية ، ولكنها قابلة للتطبيق في جميع أجزاء نظام النقل .



الشكل (١٤,٩). نسب استخدام وسائط النقل المختلفة.

(Courtesy of Public Roads, United States Department of Transportation, Vol. 33, No. 1, 1964, pp. 5-17.)

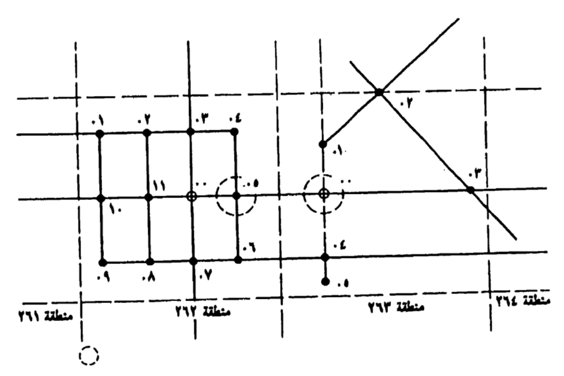
ويمكن القيام بعملية التعيين على أساس رحلات المزكبات، ولكن هذه الطريقة مطورة، أساساً، للطرق البرية وتفتقر للمرونة للتعامل مع عدة أنواع من وسائط النقل آنياً. وبالعمل على أساس رحلات الأشخاص (بدلاً من المركبات)، يمكن تعيين الرحلات لأي طريق أو واسطة نقل حسب التقسيمات القائمة أو حسب التنبؤات المستقبلية باستخدام نماذج اختيار واسطة النقل. ويجب الالتزام بمفهوم الرحلة المتصلة عند استخدام أسلوب الرحلات الشخصية حيث تعرف الرحلة بأنها حركة الشخص من نقطة البداية إلى نقطة النهاية بغض النظر عن المسار الذي يسلكه أو عدد وسائط النقل التي يستخدمها خلال الرحلة. وبذا، يمكن أن يدخل النقل العام وغيره من الوسائط خلاف الطرق في عملية التعيين.

ويحدد كل من التدفق المروري الحالي والمسارات التي تستخدمها الرحلات وأنماط تركيز المرور خلال فترات الذروة، وتوزع الرحلات بين وسائط النقل من خلال المسوحات. وتتضمن التقديرات المستقبلية تحديد نسبة الرحلات التي ستتم باستخدام السيارة الخاصة وعددها باستخدام النقل العام أو أية واسطة نقل أخرى. ومن ثم يمكن القيام بعملية تعيين الرحلات على المسارات القائمة المحسنة أو للمسارات الجديدة سواء أكانت طرقاً أوشوارع أو مسارات نقل عام أو كلها إذا كان هناك حاجة لها لتلبية الطلب لسعة إضافية. وينبني الطلب على حجم مختار من الحركة ربما خلال ساعات الذروة أو للمناسبات الخاصة مثل الحركة إلى الشاطئ أو إلى الملاعب الرياضية خلال نهاية الأسبوع.

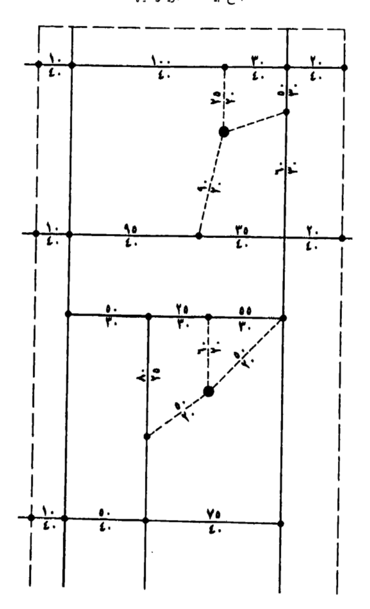
والخطوة الأولى هي إعداد الشبكة بناء على بيانات المرافق من شوارع ومسارات الحافلات والقطارات، وسعاتها والأحجام المرورية التي جُمعت خلال مسوحات الحصر. وتقسم منطقة الدراسة إلى مناطق مرورية أو قطاعات، ويُحدّد مركز كل منها في موقع يتناسب مع كثافة السكان وتولد الرحلات. وتوصل مراكز المناطق المرورية مع الشبكة الأساسية للشوارع الشريانية ومع مسارات النقل العام أو محطاته، ويجب أن تحتوي الشبكة على جميع الشوارع المحلية في الشبكة. وتُرقّم العقد (التقاطعات) تسلسلياً. كما يجب أن تحتوي الشبكة على جميع الطرق السريعة والشوارع الشريانية والتجميعية وجميع الشوارع المحتوية على إشارات تحكم مرورية أو علامات قف.

ويشار إلى التقاطعات أو العقد على الشبكة بأرقام مناسبة لاستخدامها بوساطة الحاسوب في التحليل. راجع الجزء الخاص بالشبكات في الفصل التالي للتعرف على نظام الترقيم المقترح. ويجب تحديد خصائص الوصلات بين جميع العقد وهي تشمل طول الوصلة والسرعة المسموح بها عليها والتأخيرات المحتملة مثل الإشارات الضوئية أو التقاطعات المزودة بعلامة قف وحركات الالتفاف. وتُعَدُّ جداول تحتوي على الأحجام المرورية (الحالية والمستقبلية) وزمن الانتقال (بما في ذلك التأخيرات عند التقاطعات)، وذلك لكل وصلة من الشبكة. وإذا كان التحليل يشمل النقل العام يجب الأخذ بالاعتبار ميول الطريق والتفريعات وتداخلات السكك والانحناءات المقيدة والمحطات وزمن الوقوف عندها وأزمان التحويل بين مركبات النقل العام، وأيضاً، أزمان الحركة الفعلية للقطارات المجدولة.

ويبين الشكلان (١٠ ,١٤) و(١١ ,١٤) مراكز المناطق المرورية وخريطة الشبكة على الترتيب.



الشكل (١٠,١٤). مراكز المناطق المرورية.



الشكل (١٤,١١). شبكة تعيين الرحلات.

ويجري تطوير «أشجار» المسار الأقصر وبناؤها من نقطة النهاية لمختلف نقاط البداية، إذ تختار المسارات الرئيسية عند نقطة النهاية وتُتابع هذه المسارات بعيداً عن نقطة البداية على طول المسار الرئيسي (جذع الشجرة) وتفرعاته (الأغصان) إلى نقاط البدايات، وتُجدْوَل خصائص المسار (لاستخدامها في الحاسوب) وبشكل أساسي، السعة والسرعة وزمن الانتقال التراكمي. وبعد إجراء التعديلات اللازمة للبيانات وتدقيقها (للتأكد من عدم إغفال بعض الوصلات أو وجود حركة معاكسة في شارع أحادي الاتجاه، على سبيل المثال)، تعدجداول الرحلات التي تمثل عدد الرحلات المتولدة أو المنتهية عند كل مركز منطقة مرورية مصنفة حسب بداية الرحلة أونهايتها (والغرض منها). والغاية من ذلك تحديد زمن الانتقال على مختلف المسارات والذي يستخدم لتحديد أقصر زمن انتقال لتوزيعات الرحلات المختلفة.

بعد ذلك، يجري تعيين الحركة المرورية بين أي نقطتين على الشبكة بإحدى الطريقتين الآتيتين : (١) طريقة «الجميع أو لا شيء» أو التعيين على أساس أقصر زمن انتقال، أو (٢) طريقة منحنى التحول. وباستخدام طريقة أقصر زمن انتقال، يتم تعيين الرحلات للمسار الذي يتيح أقصر زمن للانتقال بين النقطتين المعطاتين. وتبدأ العملية بتعيين الرحلات للطريق الرئيس الذي يتغذى بالتفريعات الجانبية حتى يصل عدد الرحلات المعينة له إلى سعته القصوى، ولكن السرعة تقل عندها بسبب الازدحام ويزيد زمن الانتقال حتى يصبح المسار الأول ليس أقصر المسارات الممكنة زمناً للانتقال، فُيختارمسار بديل ويعين ما تبقى من الرحلات المرورية له حتى يتشبع هو، أيضاً، حتى سعته، عندها، قد نختار مساراً ثالثاً ممكناً، وهكذا.

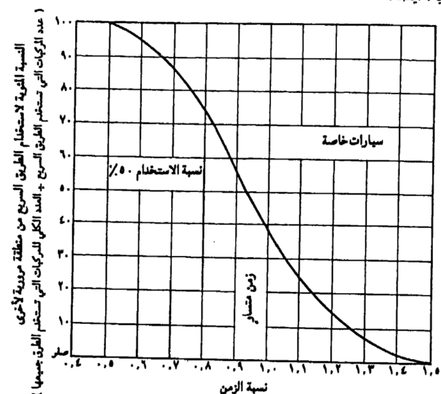
وتوضح العلاقة بين السعة والسرعة (الفصل الثامن) احتمال نشوء مقايضة بين زمن الانتقال (السرعة) والسعة حتى نصل إلى نقطة معينة تتساوى فيها أزمان الانتقال للمسارات الممكنة وبالتالي، لا يكون هناك ميزة من حيث زمن الانتقال لاختيار مسار معين وترك آخر. وتصبح جميع المسارات جذابة بالدرجة نفسها من حيث زمن الانتقال.

ويمكن تحديث طريقة التعيين على أساس أقصر زمن انتقال باللجوء إلى مفهوم منحنى التحول الذي يذكر أن المسار الأقصر لن تسلكه جميع الرحلات بل سوف تسلكه الرحلات التي يعد عامل الزمن ضرورياً لها، فقط. ويشير منحنى التحول إلى النسبة المئوية للرحلات التي تسلك طرقاً أخرى تزيد أزمان الانتقال عليها عن زمن الانتقال الأقصر، ويظهر هذا على المنحنى على شكل النسبة بين زمن الانتقال الأقصر وأزمان الانتقال الأطول على المسارات البديلة. ويتيح استخدام هذا المفهوم إضافة عدد من الرحلات للمسار الأقصر زمناً أكبر مما قد يكون ممكناً باستخدام أساليب أخرى. انظر الشكل (١٢ , ١٤).

ويمكن، أحياناً، تغيير درجة جاذبية مسار معين بزيادة السرعة على الوصلات الأقل كثافة مرورية لجعلها أكثر جاذبية للمستخدم. أما إذا كانت الوصلة مزدحمة فيمكن تقليل السرعة عليها لتخفيض درجة جاذبيتها وبالتالي، تحول بعض المستخدمين عنها إلى وصلات أخرى.

وقد طُوِّرت طرق أخرى لتعيين الرحلات إلا أنها لا تستخدم على نطاق واسع كالطرق السابقة. فطريقة الممر، مثلاً، تحدد خطوطاً فاصلة (لتكون شبكة) بين المسارات الرئيسة بحيث إن الحركة المرورية جميعها المتجهة إلى شمال (أو غرب) الخط تسلك أقرب مسار متجه للشمال (أو للغرب)، والحركة المرورية جميعها المتجهة إلى

جنوب (أو شرق) الخط تسلك أقرب مسار للجنوب (أو الشرق). وتملك هذه الطريقة إمكانية لتعيين الرحلات لمسارات قُطرية، أيضاً.[٩]



الشكل (١٢, ١٤). منحنى التحول.

(From *Traffic Assignment and Distribution for Small Urban Areas,* Office of Planning, Bureau of Public Roads, September 1965, Figure III-10)

تشكيل الحلول
FORMING SOLUTIONS

سواء تم القيام بالتخطيط نتيجة إدراك وجود حاجة أو تم القيام به كعملية روتينية، فإن التحليلات والتقديرات وطرق تعيين الرحلات المرورية غالباً ما تكشف وجود المشكلات وتعرف مكامن العجز أو الزيادة في السعة، والحالات التي يكون فيها زمن الانتقال كبيراً جداً، ونقاط الاختناقات المرورية، والمواقع الخطرة المعرضة لوقوع حوادث فيها، وذلك في نظام النقل القائم. ويحتاج عديد من المشكلات حلولاً سريعة وفورية على المدى القصير. ويجب،

(٩) Wm. S. Pollard, Jr., Corridor Capacity Determination: procedural Outline, an internal Procedure paper, hardland Bartholomew and associates, Memphis, Tennessee.

أيضاً، أن يظهر من التحليل الحاجة المحتملة لحلول جذرية وموسعة لسنة الهدف المعينة (بعد عشرين سنة، مثلاً) والتي يجب اختيار حلول بديلة لها. وفيما يلي، نورد أمثلة لعملية الاختيار التي تتطلب استخدام الأساليب التي تطرقنا إليها في هذا الفصل والفصل السابق، وذلك لتوضيح كيف يمكن تطوير الحلول من خلال تطبيق تلك الأساليب.

مثال توضيحي (١). خلال إجراء عملية تعيين الرحلات المرورية على شبكة طرق مدينة صغيرة، لوحظ وجود عجز في سعة شارع بطول ميل واحد. وقد أدى ذلك إلى حدوث اختناق مروري خلال ساعات معينة في اليوم وبطء في حركة السير ووقوع عديد من الحوادث المرورية. ويسمح الوضع القائم بوقوف السيارات على جانبي الشارع مما يترك مسافة تكفي لحارتين مروريتين للحركة في الاتجاهين عرض كل منهما ٩ أقدام.

١ - كان الاقتراح الأول لحل المشكلة هو منع الوقوف على جانبي الشارع مما يتيح إضافة حارتين أخريين لعرض الشارع. وهذا حل بسيط وفعّال وقليل التكلفة، إلا أن المواطنين اعترضوا بشدة على هذا الحل، إذ تتكدس على جانبي الشارع بيوت قديمة وشقق معدة للإيجار بأسعار زهيدة. ويعتمد سكان هذه الوحدات السكنية من الملاك والمستأجرين على هذا الشارع لإيقاف سياراتهم على جانبيه، وقد كانوا أكثر الناس اعتراضاً على هذا الحل.

٢ - أما البديل الثاني فيتضمن تحويل الشارع المعني وشارع آخر مجاور ومواز له إلى شارعين تكون الحركة في كل منهما باتجاه واحد ومتعاكسين. وهنا نشأت الاعتراضات من السكان على طول الشارع الآخر الموازي. كما أن تجار العقار أيضاً، اعترضوا على هذا البديل لخوفهم من هبوط قيم العقارات والملكيات الناشئة عن هذا التغيير الذي سينتج عنه ازدياد في حركة المرور والضوضاء والتلوث الهوائي والبصري والاهتزازي وازدياد فرص وقوع الحوادث المرورية.

٣ - ويواجه الحل الثالث المتمثل بتوسعة الشارع بمعارضة قوية من جميع الدوائر بما في ذلك أنصار البيئة والمهتمين بالتجميل والحدائق، لأن التوسعة ستتطلب القضاء على جزء من الحدائق الأمامية للمنازل، ولتكلفة نزع الملكيات الباهظة وللحاجة لقطع الأشجار الوارفة وإزالتها على جانبي الشارع. وهناك نقطة تخوف أخرى يمكن أن تنشأ إذا تطور المشروع من كونه توسعة للشارع إلى جعله جزءاً من الطريق الشرياني الرئيسي للمدينة خطّطته البلدية.

ويمكن الاختيار بين هذه البدائل باستخدام الأساليب والطرق التي سنشرحها في الفصل الخامس عشر. إذ يمكن تقويم كل من هذه البدائل اقتصادياً من حيث التكلفة عن طريق إعطاء أوزان مختلفة لأهمية العوامل غير الملموسة التي تقلق سكان منطقة الدراسة بالإضافة إلى العوامل الاقتصادية.

ولتفادي جميع الاعتراضات في هذه الحالة، يمكن تشكيل حل رابع بحيث يمنع الوقوف الجانبي كما في البديل الأول مقابل التزام البلدية بتوفير أماكن لوقوف سيارات سكان المنطقة في الممرات الخلفية خلف منازلهم والتي لا توجد عليها حركة مرورية كبيرة.

مثال توضيحي (٢). يتعلق المثال الثاني برغبة مدينة صغيرة في إيجاد شبكة من طرق الدراجات الهوائية. وقد نشأت الحاجة لمثل هذا النظام من خلال تقديرات هيئة التخطيط المحلية لنمو الحركة المرورية، ومن الطلبات التي تقدم بها راكبو الدراجات وكذلك راكبو السيارات الذين يخافون من الاصطدام بالدراجات وتعطيلها لحركة السيارات، وأثاروها أمام الهيئة والمجلس البلدي وكذلك في الصحف المحلية. لذا، فقد قامت هيئة التخطيط المحلية بحصر مسارات الدراجات الحالية وأحجامها المرورية وبدايات رحلاتها ونهاياتها. ووجد أن الحي الجامعي يشكل أحد النهايات الرئيسة لرحلات الدراجات التي تقصده عبر عديد من المسارات من الدرجة الأولى (المفصولة تماماً عن حركة السيارات والمخصصة لحركة الدراجات، فقط) التي أنشئت لهذا الغرض. وتفتقر الشبكة إلى اتصالها بمناطق سكن الطلاب والأساتذة داخل الحي الجامعي وخارجه باستثناء وجود بعض المسارات من الدرجة الثالثة (أي طرق السيارات التي يمكن أن تستخدمها الدراجات، والمزودة بعلامات مرورية توضح ذلك).

وبعد دراسة الهيئة لهذا الموضوع والاستماع لوجهات نظر الجمهور واقتراحاتهم، خصوصاً راكبي الدراجات الهوائية، من خلال الاجتماعات العامة، أعطيت الأولوية لوصل شبكة الحي الجامعي مع مناطق سكن طلاب الجامعة وأساتذتها، وقد برزت المشكلات التالية:

(أ) مشكلة إيجاد شوارع بعرض كاف في الحي الجامعي للسماح بإيجاد حارات للدراجات من الدرجة الثانية (حارة مخصصة لاستخدام الدراجات ضمن طريق السيارات). راجع المسألة الإيضاحية السابقة.

(ب) مشكلة إيجاد طريق للدراجات لعبور سكة حديدية تخترق المنطقة على ارتفاع نحو ١٢ قدماً من منسوب الطرق والشوارع والتي يمر من تحتها عدد محدود من الممرات الأرضية للسيارات والمتباعدة عن بعضها بمسافات كبيرة.

وتشمل الحلول البديلة لمشكلة حاجز السكة الحديدية ما يلي:

١ - جسر بممرات اقتراب طويلة ويكلف نصف مليون دولار.

٢ - نفق تحت السكة الحديدية بتكلفة أقل بمقدار بسيط من تكلفة الجسر.

٣ - تقاطع على المستوى نفسه مع إشارات ضوئية تحذيرية وبوابة بحواجز مع ممرات اقتراب حادة الميول وتكلف نحو ١٠٠,٠٠٠ دولار.

٤ - استعمال أحد أرصفة المشاة في ممرات السيارات السفلية القائمة وما يترتب على ذلك من تقليل سعة الرصيف من المشاة وضيق ممر الدراجات عن العرض المناسب وكون مسار الدراجات يصبح من الدرجة الثالثة.

٥ - البديل الخامل أو عدم القيام بأي إجراء وترك ركاب الدراجات يتصرفون إما بالنزول عن الدراجة والمشي بجوارها عبر الممرات الأرضية للسيارات وإما المغامرة بالسير في طريق السيارات.

ومن الواضح أن البدائل والمعطيات من المجموعات المختلفة والأفراد متعددة. ويمكن تقويم الحلول الثلاثة الأولى لعبور السكة الحديدية على أساس فعالية التكلفة. ويتطلب البديلان الأخيران تقويم جوانب السلامة واحتمال وقوع الحوادث وما ينتج عن ذلك من انخفاض في استخدام الدراجات.

أما مشكلة إيجاد شوارع داخل الحي الجامعي لإيجاد حارات خاصة بالدراجات عليها فيمكن إيجاد حل له عن طريق تبني إدارة الجامعة لسياسة جديدة تقضي بمنع دخول جميع السيارات الخاصة إلى الحي الجامعي وتوفير خدمة نقل حكومية بالحافلات من مواقف السيارات وإليها في مداخل الحي الجامعي.

ويجب تقويم الزيادة المحتملة في عدد راكبي الدراجات وما يقابله من إنخفاض حركة السيارات نتيجة لذلك على أساس فعالية التكلفة والمنفعة مقابل التكلفة والمعدل النسبي لاحتمال وقوع الحوادث والتأثير على البيئة. وقد تشير دراسة التكلفة الاقتصادية إلى تحول عدد كاف من المستخدمين من السيارات إلى الدراجات مما يبرر القيام بصرف مبالغ كبيرة لإنشاء معبر سفلي تحت سكة الحديد. وقد تحدد فعالية التكلفة مقدار التكلفة لكل ١٠٠ رحلة، وذلك لتحريك هذه الرحلات بوساطة كل من الطرق أو البدائل المقترحة.

مثال توضيحي (٣). أما المثال الثالث فهو لمدينة كبيرة تعاني مشكلات مرورية على شوارعها وطرقها السريعة مع تزايد الطلب المروري بسبب التوسع الكبير في نمو ضواحيها وأطرافها. وقد تبرز ستة بدائل ممكنة لدراستها وتقويمها، وهي:

١ - إنشاء شوارع وطرق سريعة إضافية لزيادة سعة الشبكة.
٢ - زيادة خدمة قطارات الضواحي مما يتطلب إضافة عدد أكبر من الرحلات المجدولة والقطارات وافتتاح عديد من المحطات الجديدة وتحديث المحطات القائمة. ونظراً لعزوف شركات السكك الحديدية عن المساهمة في أي من هذه التكاليف، فمن المتوقع أن يوفّر الدعم المالي لهذه التحسينات من ميزانية الحكومة.
٣ - إنشاء نظام نقل عام سريع بالقطارات يقع بعضه داخل الجزيرة الوسطية للطرق السريعة القائمة وبعضها الآخر في أنفاق تحت الأرض خصوصاً في وسط المدينة التجاري.
٤ - استحداث خدمة حافلات سريعة على الشوارع والطرق السريعة، وتخصيص حارة واحدة في كل اتجاه من الطرق لهذا الغرض.
٥ - حل يتألف من الجمع بين الحلول السابقة.
٦ - البديل الخامل أو الإبقاء على الوضع القائم وعدم القيام بأي إجراء.

ولا توجد حدود للمشكلات وللاهتمامات المتنوعة التي تنطوي عليها هذه المقترحات. ويمكن أن نذكر بعض العوامل المهمة التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند القيام بعملية الاختيار، وذلك على سبيل المثال، والتي تشمل:

١ - التكاليف الرأسمالية لكل بديل.
٢ - فعالية تكلفة كل بديل، أي التكلفة لكل ١٠٠٠ رحلة أو لكل رحلة- ميل . . . إلخ لكل بديل.
٣ - نسبة المنفعة للتكلفة لكل بديل.
٤ - القدرة على تمويل تنفيذ الحل من مصادر خاصة أو حكومية.
٥ - علاقة كل خطة بديلة بتقديرات استعمالات الأراضي المستقبلية والكثافات السكانية المتوقعة.
٦ - التأثير على تكامل الطبقات الاجتماعية المختلفة في المجتمع.

٧ - انعكاسات الحل على قيم المجتمع وتوجهاته من حيث نمو المدينة وتوسيع رقعتها أفقياً نحو الضواحي مقابل التوسع الرأسي مع زيادة كثافة استعمالات الأراضي داخل المدينة .
٨ - التأثيرات النسبية على البيئة والقيم الاجتماعية ، والتي قد تشمل :
(أ) تلوث الهواء والضوضاء والتلوث البصري والاهتزازات .
(ب) الوحدات السكنية المفقودة .
(جـ) الفرص الوظيفية المفقودة .
(د) الأعمال التجارية الراحلة أو المفقودة .
(هـ) الحد من حرية الحركة والتنقل داخل الحي الواحد (يسمى تأثير سور الصين العظيم) .
(و) انخفاض القاعدة الضريبية وزيادة الضرائب .
(ز) القضاء على المتنزهات والمباني التاريخية والمناظر الاستجمامية .
(ح) إمكانية وقوع حوادث والانخفاض النسبي في السلامة .
(ط) فقد الحركة التجارية أو تقليلها خلال فترة الإنشاء .
(ي) التأثير على خدمات المنافع الأرضية مثل المياه والصرف الصحي وغيره .
(ك) المكاسب في القاعدة الضريبية وقيم العقارات والأنشطة التجارية .
٩ - توفير الوقت للقائمين بالرحلات وتقليل التكلفة عليهم .
١٠- تقليل وقوع الحوادث .
١١- مدى التأقلم وتلاؤم الإنشاءات الجديدة مع تضاريس المنطقة .
١٢- مدى خدمة الاستخدامات المختلفة للأراضي .

ويمكن سرد عوامل أخرى عديدة ، خصوصاً تلك المحلية أو الخاصة بالمدينة المعينة التي تحت الدراسة . وبالإضافة إلى ذلك ، ولكي نكون واقعيين ، يجب أن ندرك أنه يوجد في كل مدينة ومجتمع جماعات قوى مؤثرة تعمل عادة في الخفاء للتأثير على أي نشاط أو مشروع في المدينة . لذا ، فقد يكون كسب دعم هذه الجماعات ضرورياً لنجاح الغاية أو الهدف المقترح . أما معارضة تلك الجماعات فقد يؤدي إلى تأخير المشروع ، وأحياناً ، إلى إلغاء المشاريع التي لا يفضلونها .

أسئلة للدراسة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - عدّد أنواع البيانات التي يجب جمعها في مسوحات النقل ، واشرح الاستخدام المتوقع لكل عنصر من البيانات التي تُجمع .
٢ - ما الدور الذي تقوم به مسوحات المقابلات المنزلية؟ ما البيانات التي تجمع فيها وما الغرض من كل منها؟
٣ - باستخدام بيانات الشكل (٥ , ١٤) ، احسب عوامل النمو خلال الفترة من ١٩٤٠ م إلى ١٩٥٠ م ومن ١٩٥٠ م إلى ١٩٧٠ م ، وقارنها بالمجموع المتوقع لمنطقة الدراسة مستقبلاً ، واشرح مصادر أي فروقات موجودة .

٤ - احسب عدد الرحلات التي ستنطلق من المنطقة المرورية A بعد ٢٠ سنة من الآن عندما يكون عامل النمو لها هو ٤,١ والمتجهة إلى المنطقة المرورية B التي لها عامل نمو قدره ٧,١، مع العلم بأن الرحلات الحالية بينA و B تصل إلى ٩٠ رحلة في اليوم. وباستخدام عوامل النمو، فإن توزيعات الرحلات المنطلقة والمنجذبة من المنطقتين A و B على الترتيب، هي كالتالي :

توزيع الرحلات المنطلقة من المنطقة A		الرحلات المنجذبة للمنطقة B	
T_{AC}	= ١٥٠	T_{CB}	= ٢٦٠
T_{AD}	= ١٠٠	T_{DB}	= ٢٩٠
T_{AE}	= ٦٠	T_{EB}	= ٢٠٠
T_{AF}	= ١٧٠	T_{BF}	= ٢٥٠

ويصل العدد الحالي للرحلات المتولدة من المنطقة A إلى ٤٠٠ رحلة، كما يصل العدد الحالي للرحلات المنجذبة للمنطقة B إلى ٤٠٠ رحلة.

٥ - ما محددات الرحلات وما أهميتها في تخطيط النقل؟ وكيف يمكن استخدامها لتقدير تولد الرحلات مستقبلاً؟

٦ - باستخدام المعادلة المناسبة من الجدول (٢, ١٤)، احسب عدد رحلات الأشخاص التي ستتم لكل وحدة سكنية عندما تشير مسوحات المقابلات المنزلية إلى وجود ثماني وحدات سكنية لكل فدان من مساحة منطقة سكنية بها ٨٠ وحدة سكنية وتقع على بعد ثلاثة أميال عن وسط المدينة التجاري.

٧ - تحتوي مدينة على منطقتين سكنيتين E و F تنتجان على الترتيب ٥٠٠ و ٧٠٠ رحلة عمل، أما المنطقتان G و H فتتوافر فيهما فرص للعمل وتجذبان على الترتيب ٦٥٠ و ٥٥٠ رحلة، وأزمان الانتقال بين المناطق المختلفة هي :

من E إلى G = ٦ دقائق
من E إلى H = ١٧ دقيقة
من F إلى G = ١٢ دقيقة
من F إلى H = ١٠ دقائق

وعدد الرحلات المشاهدة فعلياً هو :

من E إلى G = ٢٥٠ رحلة
من E إلى H = ٢٥٠ رحلة
من F إلى G = ٤٠٠ رحلة
من F إلى H = ٣٠٠ رحلة

المطلوب إيجاد قيم مجموعة من عوامل زمن الانتقال التي ستنتج تقديرات قريبة بدرجة معقولة للرحلات المشاهدة، أي المطلوب معايرة النموذج لمجموعة البيانات أعلاه. مع العلم بأن القيم الابتدائية لـ F_{ij} يمكن أخذها على أنها تساوي واحد، كذلك افتراض أن K_{ij} يساوي واحد ولكن اشرح دلالة ذلك.

٨ – اختَر منطقة بداية ومنطقة نهاية للرحلات في مدينتك واحسب ما يلي: (أ) نسبة زمن الانتقال، و (ب) نسبة الخدمة، و (ج) نسبة تكلفة السيارة الخاصة مقارنة بالنقل العام بالحافلات أوالقطارات، حدد حصص وسائط النقل المختلفة من الرحلات من المنحنى في الشكل (٨, ١٤).

٩ – ما المفاهيم والخصائص العامة لمعظم نماذج استخدامات الأراضي؟ ما موقع تقنية النقل في هذه المفاهيم؟

١٠– عرّف مشكلة النقل أو حاجته في مدينتك و، باختصار، وضّح : (أ) جميع التضاربات الممكنة بين جماعات المصالح المختلفة، و(ب) جميع الآثار الممكنة المترتبة على الحلول البديلة، و(ج) الطرق التي يمكن بها مقارنة البدائل واختيار أفضلها.

قـــــراءات مقترحـــــة
SUGGESTED READINGS

1. *Urban Mass Transportation Surveys,* prepared by Urban Transportation systems Associates, Inc., for the U. S. Department of Transportation, Washington, D. C., August 1972.
2. A. M. vorhees and R. Morris, "Estimating and Forecasting Travel for Baltimore by Use of a Mathematical Model", *Highway Research Bulletin 224,* Highway Research Board, Washinton, D. C., 1959, pp. 105-114.
3. *Traffic Assignment and Distribution for Small Urban Areas,* Bureau of Public Roads, Office of Planning, U. S. Department of Commerce, Washington, D. C., September 1975.
4. Constantine Ben, Richard Bouchard, and Clyde E. Sweet, Jr., "An Evaluation of Simplified Procedures for Determining Travel Patterns in a Small Urban Area", *Hiwhway Research Record No. 88,* Highway Research Board of the National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D. c., 1965, pp. 137-171.
5. Richard J. Bouchard and Clyde E. Peyers, "Use of Gravity Model for Describing Urban Travel", Highway Research Record No. 88, Highway Research Board of the National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D. c., 1965, pp. 1–44 .
6. Kevin E. Heanue and Clyde E. Peyers, "A Comparative Evaluation of Trip Distribution Procedures", *Highway Research Record No. 114,* Highway Research Board of the National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D. c., 1965, pp. 20–37.
7. B. V. Martin, F. W. Memmott, A. J. Bone, *Principles and Techniques of Predicting Future Demand for Urban Area Transportation,* Massachusetts Institute of Technology, R63-1, Research Report No. 38, Cambridge, Massachusetts, June 1961.
8. T. J. Frater, "Forecasting Distribution of Inter-~onal Vehicular Trips by Successive Approximations", *Volume 33, Proceddings of the Highway Research Board,* Washington, D. C., 1954.
9. *Chicago Area Transportation Study, Volumes 1, 2, and 3,* Dr. J. Douglas Carroll, Director, Chicago, Illinois, 1959, 1960, 1962.

10. Walter Y. Oi and Paul W. Shuldiner, *an analysis of Urban Travel Demands,* Transportation Center at Northwestern, Northwestern University Pres, Evanston, Illinois, 1962.
11. *Detroit Metropolitan Traffic Study, Volumes I and II,* Speaker-Hines and Thomas, Inc., for the Michigan State Highway Department, Lansing. Michigan, 1955.
12. Alan M. Vorhees, "A General Theory of Traffic Movement", *Proceedings of the Institute of Traffic Engineers,* Washington, D. C., 1955, pp. 45-56.
13. A. R. Tomasinis, "A New Method of Trip Distribution in an urban Area:, *Bulletin No. 437,* highway Research Board, Washington, D. C., 1962.
14. W. R. McGrath, "Land Use Planning Related to Traffic Generation and Estimation", *Proceedings, Institute of Traffic Engineers,* Institute of Traffic Engineers, Washington, D. C., 1958.
15. A. b. Sosslau, E. K. Heanue, and A. J. Balek, "Evaluation of a New Model Split Procedure", *Highway Research Record No. 88,* Highway Research Board of the National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D. c., 1965, pp. 44–63.
16. Robert H. Sharkey, "Mass Transit Usage", *C.A.T.S. Research News,* Vol. 3, No. 1, The Chicago Area Transportation Study, Chicago Illinois, January 9, 1959.
17. N. A. Irwin, "Review of Existing Land-Use Forecasting Techniques", *Highway Research Record No. 88,* Highway Research Board of the National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D. C., 1965, pp. 182–216.
18. D. M. Hill, D. Brand, and W. b. Hansen, prototype Development of Statistical Land-Use predication Model for Greater Boston Region", *Highway Research Record No. 114,* Highway Research Board of the National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D. c., 1966, pp. 51–71.
19. John W. Dickey, *Metropolitan Transportation Planning,* McGraw hill, New York, 1975.
20. Britton harris, "Penn-Jersey Transportation Study", *PJ Papers,* No. 7, June 1961, No. 9, august 1961, No. 14, February 1962 and Revised memos Nos. 1 and 2, February 1973.
21. Britton Harris, "Experiments in Projections of Transportation and Land Use", *Traffic Quarterly,* April 1962, pp. 305–319.
22. Lowdon Wingo, Jr., *Transportation and Urban Land,* Resources for the Future, Inc. Washington, D. C., 1964.
23. J. R. Meyer, J. f. kain, and M. Wohl, *The Urban Transportation problem,* A RAND Corporation Research Study, Harvard University press, Cambridge Press, 1965.
24. *Modal Split—Documentation of Nine Methods for Estimating Usage,* U. S. Department of Commerce, Bureau of Pulbic Roads, Office of Planning, December 1966.
25. Lyle G. Wermers, "Urban Mass Transit Planning", *Journal of the Urban Planning and Development Division,* Proceedings of the American Society of Civil Engineers, New York, March 1970.
26. *Transportation and Traffic Engineering Handbook,* John Baerwald, Editor, Intitute of Traffic Engineers, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1975.
27. Eugene V. Ryan, "Calibration of the Network Sensitive Mode Split Model", *C.A.T.S. Research News,* Chicago Area Transportation Study. Chicago, Illinois, Vol. 16, No., 3, December 1974, pp. 1-7.
28. William S. Pollard, "Operation Research Approach to the Reciprocal Impact of Transportation and Land use", paper prepared for presentation at ASCE of Transportation Engineering Conference, Minneapolis, Minnesota, May 1965.

الفصل الخامس عشر

تقويم النظم البديلة
EVALUATING ALTERNATIVE SYSTEMS

دور التقويم
THE ROLE OF EVALUATION

يتعامل تخطيط النقل، خاصة على المستوى الإقليمي، مع أعداد كثيرة من أنواع الحركة المرورية والمركبات التي تنتشر على مساحات كبيرة من الأرض، مع وجود علاقات متبادلة معقدة وأحياناً غامضة بينها. ويصاحب هذا، عادة، وجود مصالح متضاربة للجماعات والأفراد. وغالباً ما يكون هناك أكثر من حل ممكن لمشكلات النقل، ويجب على متخذي القرارات الاختيار بين الحلول والإمكانيات البديلة. ولابد من عرض البدائل عرضا كاملا ومنظما حتى تكون عملية الاختيار بين البدائل مبنية على مزايا كل بديل، وموضوعية، مع أقل قدر ممكن من القرارات الارتجالية المبنية على الآراء الشخصية. وسنتناول في هذا الفصل طرق القيام بعملية الاختيار وإجراءاته.

تحليل النظم System Analysis. عند القيام بعملية الاختيار والمفاضلة بين البدائل المختلفة، يجب الأخذ بالاعتبار منظومة عريضة من العوامل الطبيعية والاجتماعية والجمالية والاقتصادية والسياسية التي تعكس مستويات قيم الأفراد والمجتمع. وتتفاعل هذه العوامل مع بعضها لتحقيق غرض مشترك. وقد يؤثر حدوث تغير في أحدها على عامل آخر، أو على جميع العوامل الأخرى. والعلاقات بين هذه العوامل هي علاقات معقدة ومستترة غالباً. لذا، فلا بد من اتباع أسلوب منهجي منظم لتقويم النظم البديلة، ولقياس مدى وفاء البديل المعين بالغايات والمعايير المحددة والتنبؤ به.

خطوات تحليل النظم Steps in Systems Analysis. ينطوي الأسلوب العام لتحليل النظم على الخطوات التالية:

١ - تعريف المشكلة التي تعد أهم خطوات التحليل.

٢ - تطوير نموذج للنظام يوضح العلاقات الأساسية بين العناصر المختلفة، وقد يكون هذا النموذج نموذجاً بيانيًا أو رياضيًا أو نظريًا أو شاملاً لها جميعاً.

٣ - يجب معايرة النموذج أو تعريفه كمياً.

٤ - تُختار معايير لتقويم الأداء.

٥ - تُدخل الأرقام الخاصة بكل بديل في نموذج التقويم واختباره وتدوين النتائج، وبالتالي، تقويم البديل.

٦ - تختبر ومقارنة الحلول البديلة المختلفة وتُقارن ببعضها.

وعند إجراء مقارنة لعدد من البدائل، يجب أن تكون هناك معايير يستدل بها كأساس للمفاضلة. وبالنسبة لنموذج نظم النقل، يمكن أن يعبر عن هذه المعايير بدرجة تحقيق الأهداف - مثلاً، السعة أو زمن الانتقال أوالانخفاض في الحوادث أو التلوث أو كمية الأرض المستخدمة أو الإيرادات أو التأثير على قيم المجتمع أو القدرة على خدمة مناطق الإقليم كافة. ودائماً ما تعد تكاليف تحقيق الغايات والأهداف المرغوب فيها معايير حيوية ومهمة.

ومن المعايير العامة الأخرى ما يتعلق بمستوى الحل، إذ يمكن أن يكون الحل هو الحل المثالي، أو يمكن أن يكون حلاً جيدًا أو مقبولاً. ومن حيث التكلفة، فإن الحل المقترح يكون مثالياً عندما يعطي واحداً مما يلي:

(أ) أقصى إنتاجية (السرعة، أو تكرار الخدمة، أو السعة) بأقل تكلفة.

(ب) أقصى سعة وسرعة... إلخ، من مجموع الموارد الثابتة أو المعطاة سواء أكانت موارد مالية أو خلافها.

(جـ) أدنى تكلفة للمتطلبات المعينة للسعة والسرعة وسهولة الوصول... إلخ.

ولتحقيق الحل الأمثل، فإن من الضروري الحصول على جميع الحلول الممكنة، وجميع الآثار المترتبة عليها. وهذا يعني أنه يجب اعتبار جميع العوامل ذات العلاقة للوصول إلى الحل. وليس من السهل، أو حتى من الممكن دائمًا، تحقيق هذه المتطلبات، وبالتأكيد، لا تستحق دائماً الجهد المبذول من حيث المردود المالي. وبالأخذ بالاعتبار العوامل والبيانات الممكنة، فقط، واعتبار الحلول الممكنة، فقط، فإنه يمكن الحصول على حل جيد مناسب للغرض المنشود.

نموذج التقويم Evaluation Model. لم يُطّور حتى الآن نموذج رياضي مناسب تماماً لتقويم أنظمة النقل. وقد يكون من المفيد استخدام نموذج نظري يعرض بيانياً العوامل المختلفة التي يجب اعتبارها والعلاقات النسبية بينها. ويجب أن يحتوي أي نموذج من هذا النوع على جانبين متميزين ولكنهما مرتبطان وهما:

(أ) نموذج لنظام النقل يشمل العناصر الطبيعية (المركبات والطرق والمحطات وأنظمة التحكم) والأشخاص والمجموعات (المستخدمين والموظفين والبنائين) والأنشطة (الركوب والقيادة والتحميل والتفريغ والإنشاء والترحيل والصيانة) على أن تكون الأرض والعمال ورأس المال والمواد والمعدات هي معطيات النظام.

(ب) نموذج عام لمنطقة الدراسة يكون نموذج النقل أحد أجزائه . وينطوي النموذج الإقليمي العام على العناصر الطبيعية (الأرض والهواء والماء ونوع الغطاء والإضافات التي أدخلها الإنسان على الطبيعة . . . إلخ) والنظام الجزئي البشري (بخصائصه الطبيعية والبيولوجية والإجتماعية والنفسية) الذي يبرز طموحات المجتمع ومفاهيمه . أما النظام الجزئي للأنشطة فيتضمن الاستجابة للنظام الجزئي الطبيعي فيما يتعلق بالتقويم وتلبية الاحتياجات من عدمه .[١]

ويكون نموذج نظام النقل الكامل شبيهًا بالنموذج المبين في الشكل (١٥,١) .

المعايير الاقتصادية
ECONOMIC CRITERIA

يمكن لرأس المال والتكاليف التشغيلية لواسطة نقل أو بديل معين أن يحددا مدى ملاءمة هذه الواسطة أو البديل وقبولهما للوضع المعين الذي تحت الدراسة . وفي أحيان كثيرة ، يولى الإهتمام الأكبر للتكاليف الرأسمالية مع إعطاء قدر غير كاف من الاهتمام لتكاليف التشغيل والصيانة اليومية ، مع أن الواجب هو الاهتمام بهما كليهما وأخذهما بالاعتبار في التحليل الاقتصادي لبدائل النقل .

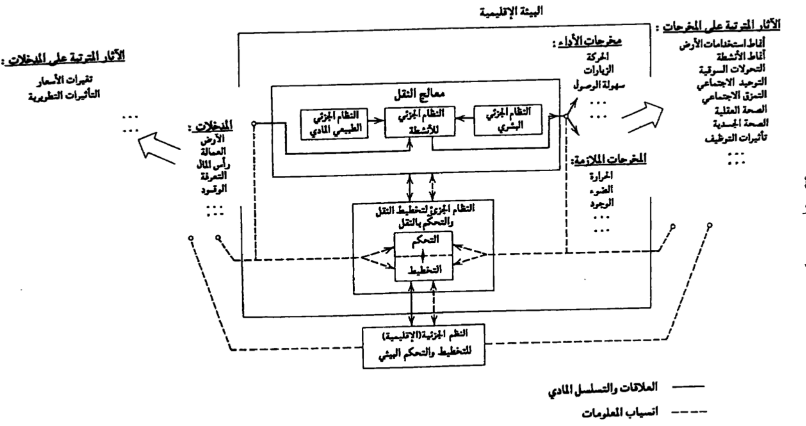
وإحدى المسؤوليات الأساسية للمهندس في عملية التخطيط هي تحديد ما إذا كان نظام النقل المقترح مجدياً اقتصادياً . إن القدرة على تمويل مشروع أو الحصول على رأسمال لمشروع فيه بعض المخاطرة أو الالتزام بأرصدة حكومية لتنفيذه عادة ما يعتمد على الحصول على ردود مطمئنة وإيجابية من خلال بعض التحليلات الاقتصادية المبدئية .

وفي البداية ، يطرح سؤال عما ما إذا كان هناك أي مبرر اقتصادي للمشروع ، وهل سيحقق عائداً مالياً كافيًا ، أو يوفر خدمة مناسبة وكافية لتبرير صرف الأموال؟ وهل ستكون الفوائد المتحققة أكثر من التكاليف المنصرفة؟ وأي البدائل العديدة سيكون هو الأكثر جدوى من الناحية الاقتصادية؟ ودائماً ما يكون البديل الخامل هو أحد البدائل المطروحة ، ويقصد به الإبقاء على الوضع القائم والاستمرار في استخدام تجهيزاته مع اعتبار مصاريف الصيانة والتشغيل المتزايدة غالباً . ويجب أن يبرهن المقترح البديل على تفوق مميزاته على الوضع القائم وإلا فليس هناك داع للتغيير .

ولا تقتصر البدائل على مشاريع النقل فقط ، إذ تتنافس مشاريع أخرى اجتماعية وتجارية على رأس المال المتاح . ففي القطاع الحكومي ، مثلاً ، تنافس خدمات الشرطة والدفاع المدني والمتنزهات والمدارس والمستشفيات مشاريع النقل على الأموال الحكومية . كما تواجه رؤوس الأموال ومصادر التمويل الخاصة عدداً لا يحصى من الفرص لاستثمار رأس المال في مشاريع أخرى خلاف مشاريع النقل .

---

(١) "Strategies for the Evaluation of Alternative Transportation Plans", National Cooperative Highway Research Report 96, by Edwin N. Thomas and Joseph L. Shofar, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1070, pp. 13-25.



الشكل (١٥,١). نموذج نظام النقل.

(From *Strategies for The Evaluation of Alternative Transportation Plans,* National Cooperative Highway Research Program Report 96, Highway Research Board, Washington, D.C., 1970, Figure 10, p. 25.)

ويمكن تحديد التكاليف الاقتصادية باستخدام إحدى الطرق العديدة المعروفة المطورة لذلك. وإذا طُبقت بأسلوب صحيح فإن جميع هذه الطرق ستعطي النتيجة نفسها من حيث ربحية المشروع. وسنناقش هذه الأساليب في الفقرات التالية والتي تشمل معدل العائد على رأس المال والتكلفة السنوية والتكلفة الرأسمالية ونسبة الفائدة إلى التكلفة.

معدل العائد على رأس المـــال Rate of Return. تعد طريقة معدل العائد واحدة من أقدم المعايير المستخدمة في دراسات الجدوى الاقتصادية وأفضلها. وتتضمن هذه الطريقة مقارنة معدلات العائد على رؤوس الأموال المستثمرة في الأنظمة البديلة أو المسارات أو المواقع أو التصاميم لمشاريع النقل المتعددة، وذلك باستخدام المعادلة[$p=(R-E)/C$] حيث إن (R) = الإيرادات المتوقعة، و (E) = المصاريف التشغيلية، بما في ذلك الضرائب ومصاريف إهلاك الأصول الثابتة، و(C) = المبلغ المستثمر في التجهيزات الثابتة والمعدات، و (p) = معدل العائد على رأس المال. ولهذه الطريقة تطبيقات في المقارنة التفصيلية بين المواقع البديلة لمسار السكة الحديدية حيث تؤخذ في الاعتبار درجات الميول والانحناءات والمسافة لكل بديل. ولكن، في الواقع لهذه الطريقة تطبيقات، تقريبًا، في أية مقارنة يمكن أن تبرز في دراسات تخطيط النقل. وهي تتيح إمكانية تحديد ما إذا كان معدل العائد كبيراً بدرجة كافية لجذب رؤوس الأموال، وهذا يعد اختباراً ضرورياً للمشاريع التي تُموّل في أسواق المال الحرة، كما يعد مؤشراً متحفظاً حتى للمشاريع الحكومية التي تُموّل مباشرة من أموال الضرائب. كما تتيح هذه الطريقة، أيضاً، تقويم الإيرادات وتكاليف الحصول على تلك الإيرادات. فهذه الطريقة تجيب، مثلاً، على السؤال: هل يمكن الحصول على إيرادات كافية من مصادر الحركة المرورية لتبرير إنشاء مسار أطول وما يترتب عليه من مصاريف تشغيلية إضافية لخدمة هذه الحركة؟ وهذه الطريقة مفيدة لضمان تحقيق أقصى فائدة بأقل مبالغ مالية ممكنة، أي تحقيق أقصى معدل للعائد على رأس المال وإعطاء الأولوية للمشاريع التي تعطي أعلى عائد.

ويجب أن يكون معدل العائد كافياً، في الأقل، لتغطية رأس المال المستثمر، وتسديد الأموال المقترضة مع الفوائد المترتبة عليها، حتى للمشاريع الحكومية. وبالإضافة إلى ذلك، يجب أن تظهر المشاريع التجارية إمكانية تحقيق هامش معقول للربح. ومن الممكن إستبعاد بعض البدائل المقترحة أو جميعها إذا لم تتمكن من تحقيق معدل عائد جذاب على رأس المال المستثمر.

وسيطرح سؤال عن ماهية القيمة التي يمكن استخدامها للإيرادات المتوقعة، (R)، من المشاريع غير الإيرادية، مثل الطرق العامة التي لا تفرض رسوم نقدية مباشرة لاستخدامها. فعندما تكون الإيرادات ثابتة، أو عندما لا توجد إيرادات مطلقاً، يعد البسط في المعادلة السابقة الفرق بين التكاليف الكلية للتشغيل للمشروع القديم أو الأساسي والمشروع الجديد. وفي هذه الحالة، لكي يبرر القيام بالمشروع الجديد، يجب أن يظهر انخفاض في التكاليف الإجمالية لصيانة الطريق وتشغيل المركبات عليه. إن تخفيض درجة ميل الطريق ودرجة انحنائه، وتقليل طوله وزيادة السرعة عليه، كلها عوامل تساعد على تقليل تكاليف الوقود والصيانة والعمالة وغيرها من العوامل ذات الصلة. وفي هذه الصورة، فإن المعادلة الآن تظهر، فعلياً، معدل العائد على الاستثمار من خلال الوفورات

المتحققة. ويمكن رؤية كيفية استخدام هذه الصيغة لمعدل العائد على الاستثمار من خلال المثال التوضيحي البسيط التالي:

المعطيات: هناك مقترح لإنشاء خط سكة حديد فرعي طوله ٢٠ ميلاً (٣٢,٢ كم) ليغذي الحركة على الخط الرئيس. ويوجد ثلاثة مواقع بديلة هي (أ)، و(ب)، و(ج)، ويبين الجدول التالي الإيرادات وتكاليف الإنشاء والمصاريف التشغيلية ومعدل العائد المحسوب لكل منها.

عناصر المعادلة	البديل (أ)	(ب)	(ج)
R = الإيرادات ٨٤٠٠٠٠ دولار		٨٤٠٠٠٠ دولار	٨٤٠٠٠٠ دولار
E = المصاريف التشغيلية	٧٢٠٠٠٠ دولار	٧٨٠٠٠٠ دولار	٦٦٠٠٠٠ دولار
C = تكاليف الإنشاء	١٦٠٠٠٠٠ دولار	١٥٢٠٠٠٠ دولار	١٨٨٠٠٠٠ دولار
p = معدل العائد	٧,٥٪	٤,٠٪	٩,٦٪

عينة من الحسابات:

$$p = {(R-E)}/{C} = {(840,000-720,000)}/{1,600,000} = 7.5\%$$

وعلى الرغم من ارتفاع تكاليف الإنشاء للبديل (ج)، فإنه يعطي أفضل معدل للعائد على رأس المال نظراً لانخفاض مصاريفه التشغيلية. أما البديل (ب) فمن الصعب قبوله حتى لو كان يعطي أفضل معدل للعائد نظراً لانخفاض عائده إذ إن الإيرادات تكاد لا تغطي مصاريفه الثابتة.

وهناك صيغة أخرى لمعدل العائد تحدد معدل الريع الذي تتساوى عنده التكاليف السنوية لبديلين مختلفين. حيث يؤخذ أحد البديلين أساسا لمقارنة البدائل الأخرى معه. وعند النظر في إمكانية إدخال تحسينات على مرافق قائمة، فإنه لابد من اعتبار البديل الخامل أو بديل عدم القيام بأي إجراء، وذلك كأحد الاحتمالات الممكنة، وليعمل كأساس للمقارنة. ويُقارَن كل بديل من البدائل المقترحة بالبديل الخامل الذي لا يتضمن أية تكاليف إنشائية، إلا أن له تكاليفه التشغيلية الخاصة به، ويُحسب معدل العائد لها. وتستبعد البدائل التي تظهر معدلات للعائد غير مرتفعة بدرجة كافية لجذب رؤوس الأموال. ثم تحسب معدلات العائد للزيادة المطلوبة في رأس المال بين المقترحات المرتبة تصاعدياً حسب مقدار تكاليفها. وتستبعد المقترحات التي لا تظهر معدلات جذابة للعائد،

وذلك قبل حساب معدل العائد للشريحة التزايدية التالية . ومن الناحية الاقتصادية ، فإن البديل المرغوب فيه هو الذي يكون معدل العائد له أكثر من القيمة المحددة لمعدل العائد الجذاب عند حسابها على أساس رأس المال الكلي ، وعلى أساس رأس المال التزايدي .(٢)

وهذه الطريقة ـ في الواقع ـ لا تتلافى مشكلة تحديد حد أدنى مقبول لمعدل العائد ، كما أن هذه الطريقة ليست دائماً طريقة سهلة لترتيب البدائل الاستثمارية . وقد وجدت هذه الطريقة تطبيقاً أساسياً في دراسات الطرق ، خصوصاً باعتبارها أساسا لدراسة القيام بتحسينات للطرق . وتعد المقارنة المباشرة بين معدلات العائد للبدائل الاستثمارية أفضل طريقة مباشرة وسهلة الفهم وتؤدي الحاجة .

التكاليف السنوية Annual Costs . في طريقة التكاليف السنوية ، تُحوّل التكاليف الرأسمالية أو الاستثمارية إلى تكاليف سنوية ، وتضاف إلى مصاريف التشغيل السنوية للحصول على التكاليف السنوية الكلية . ومن المنطقي أن يُختار البديل الذي يعطي أقل تكلفة سنوية .

وإحدى صيغ معادلة التكلفة السنوية هي :

$$C_a = (P - S) \times CRF + S \times I + E_a$$

حيث إن :

C_a = التكاليف السنوية الكلية

P = التكلفة الرأسمالية أو الاستثمار الأولي

S = قيمة مرافق المشروع عند نهاية عمره التشغيلي (بعد n من السنين)، وتسمى قيمة الإنقاذ

I = الريع لقيمة الإنقاذ

CRF = عامل استعادة رأس المال لمعدل ريع قدره I على مدى n من السنوات .

E_a = مصاريف التشغيل والصيانة السنوية

ويمكن تبني هذه الطريقة واستخدامها بوساطة شركة صناعية تخطط لإنشاء نظام نقل خاص بها ، أو لتقويم تأثيرات إدخال تحسينات على مسار قائم (وفي هذه الحالة يُعّد البديل الخامل أو الوضع القائم أحد البدائل الممكنة) . وتعاني هذه الطريقة خللاً خطيراً يتمثل في أنها تعطي نتائج مختلفة اختلافاً كبيراً مع اختلاف فرضيات قيم معدلات الريع والعمر التشغيلي لعناصر المشروع التي لا يتفق المهندسون عليها تماماً ، كما أن هذه الطريقة لا تعطي معدل العائد المتوقع .

مثال توضيحي

باستخدام بيانات المسألة التوضيحية السابقة ، يمكن حساب التكاليف السنوية ومقارنتها على النحو التالي :

---

(٢) L. I. Hewes and C. H. Oglesby, Highway Engineering, Wiley, New York, 1954, pp. 66-67, 70-71.

عناصر المعادلة	البديل (أ)	(ب)	(جـ)
المصاريف التشغيلية	٧٢٠٠٠٠ دولار	٧٨٠٠٠٠ دولار	٦٦٠٠٠٠ دولار
مصاريف استعادة رأس المال السنوية[١]	٨٠٨٣٢ دولاراً	٧٦٧٩٠ دولاراً	٩٤٩٧٨ دولاراً
التكاليف السنوية الكلية	٨٠٠٨٣٢ دولاراً	٨٥٦٧٩٠ دولاراً	٧٥٤٩٧٨ دولاراً

(١) حُولت التكاليف الإنشائية أو الرأسمالية للمسألة التوضيحية السابقة إلى ما يكافئها من تكاليف سنوية عن طريق ضرب قيمة الاستثمار بعامل استعادة رأس المال السنوي (CRF). وهذه الطريقة مشروحة بتفصيل أكثر في جزء قادم بعنوان استعادة رأس المال. وفي المثال السابق يعد البديل (جـ) البديل المفضل لأن تكاليفه السنوية هي الأقل. وقيمة الإنقاذ هنا مشمولة في تكلفة رأس المال.

نسبة الفائدة للتكلفة Benifit-Cost Ratio. إن العامل الذي ترتكز عليه دراسات الفائدة والتكلفة هي النسبة (R_b) للفوائد السنوية (B_a) إلى التكاليف السنوية (C_a). أو أن $[R_b=(C_{u1}-C_{u2})/(C_{a1}-C_{a2})]$ ، حيث إن C_{u1} و C_{u2} هما التكاليف السنوية على المستفيد قبل التحسين وبعده، على الترتيب، والفرق بينها يساوي الفوائد، أما (C_{a1}) و (C_{a2}) فهما التكاليف السنوية الكلية قبل التحسين وبعده، على الترتيب. وتُحسب التكاليف السنوية الكلية كما في طريقة التكاليف السنوية، باستخدام عامل استعادة رأس المال (CRF) لتشمل التكاليف الرأسمالية. وتشير النسبة التي تزيد على واحد إلى أن التكاليف الإضافية للبديل المعنيّ ذوات جدوى اقتصادية. أما إذا قلت النسبة عن واحد فذلك يعني أن الفوائد أقل من التكاليف. وتُرتّب البدائل المختلفة تصاعدياً حسب التكاليف الاستثمارية، ابتداء بالبديل الخامل، ثم تحسب هذه النسبة لكل بديلين متتابعين من حيث التكلفة الاستثمارية التزايدية. ويعد البديل الذي يتطلب أعلى تكلفة أستثمارية والذي يصل إلى نسبة مرضية للفائدة إلى التكلفة لكل من الاستثمار الكلي والتزايدي البديل الأفضل.

وهناك جدل حول ماهية الفوائد التي يجب اعتبارها، هل نقتصر على الفوائد المباشرة لمستخدم النظام، أم نأخذ في الاعتبار، أيضاً، الفوائد الثانوية، مثل زيادة قيمة الملكيات وزيادة المبيعات وقيام المزيد من الصناعات؟ وعلى الرغم من أن الفوائد الثانوية غالباً ما تكون حقيقية، إلا أنه من الصعب تقويمها بدقة. وهناك ميل للمبالغة في أهميتها، كما أن هناك احتمالاً لتكرار حساب هذه الفوائد بدون قصد، أي أخذ تأثيرها بالاعتبار في أكثر من موضع. ووجهة النظر المحافظة متمسكة باقتصار الفوائد المقدرة على الفوائد المباشرة التي يتمتع بها مستخدمو النظام، أي الوفورات في تكاليف النقل التي تنشأ عن الانخفاض في استهلاك الوقود، وفي زمن الانتقال على الطريق، وفي تكاليف الحوادث... إلخ. وتحديد تكاليف المستخدمين هذه أكثر سهولة ودقة، أما الفوائد الثانوية فستظهر ويمكن إدراكها من خلال توافر السلع ورؤوس الأموال للقيام بخدمات أخرى، أو من خلال هبوط أسعار السلع المنقولة على النظام المحسن.

وقد وجدت طريقة نسبة الفائدة للتكلفة استعمالاً واسعاً في مشاريع الطرق والممرات المائية، وغيرها من المشاريع العامة. وتختلف النتائج التي يُتوصل إليها باختلاف معدل الريع المفترض، وباختلاف القيم المعطاة للفوائد المتنوعة. ويجب أن تشتمل التكاليف على الفوائد السلبية أو الآثار الضارة. كما يجب أن يكون معدل الريع المستخدم واقعيًا، وأن تستخدم قيمته نفسها استخداماً منتظماً وموحداً لجميع الحالات.

استعادة رأس المال Capital Recovery. لا يكفي أن يقوم المشروع باسترداد رأس المال المستثمر، ولكن يجب، أيضاً استعادة مبالغ الريع المترتبة على تلك الأموال.

وعلى أساس سنوي، فيمكن الحصول على المبالغ السنوية من معادلةالريع التالية:

$$R = \mathrm{P\,r}\ \left\{(1+r)^n / \left[(1+r)^n - 1\right]\right\}$$

حيث إن:

R = المبلغ السنوي لمدة n من السنوات اللازم لاستعادة رأس المال المستثمر مع ريعه.

n = العمر التشغيلي للممتلكات (أو مدة الالتزامات).

r = معدل الريع أو العائد.

P = رأس المال المستثمر الرئيسي أو المبدئي.

وتسمى قيمة الكمية $\left\{r\ (1+r)^n / \left[(1+r)^n - 1\right]\right\}$ بعامل استعادة رأس المال (*CRF*). ولتسهيل الحسابات، يمكن استخدام جدول معد مسبقاً لقيم عامل استعادة رأس المال المقابلة لقيم مختلفة لمعدل الريع ولعمر الاستثمارات (r و n). انظر الجدول (١ , ١٥). فمثلاً، يمكن حساب تكلفة استرداد رأس المال السنوية للمثال التوضيحي في الجزء السابق مع افتراض عمر الممتلكات بـ ٤٠ سنة (n) ومعدل ريع يساوي ٤٪:

البديل (أ) = رأس المال المستثمر × عامل استعادة رأس المال

= ١٦٠٠٠٠٠ × ٠,٠٥٠٥٢ = ٨٠٨٣٢ دولاراً.

البديل (ب) = ١٥٢٠٠٠٠ × ٠,٠٥٠٥٢ = ٧٦٧٩٠ دولاراً.

البديل (ج) = ١٨٨٠٠٠٠ × ٠,٠٥٠٥٢ = ٩٤٩٧٨ دولاراً.

التكاليف الرأسمالية واستعادتها Capital Costs and Recovery. تعتمد درجة الدقة لأية طريقة، جزئيًا، على دقة البيانات المستخدمة فيها. وفي الدراسات المبدئية للجدوى، فإن متوسط تكاليف الإنشاء والمعدات سيمثل الاستثمارات. ولابد أن تكون هذه التقديرات أكثر دقة في الدراسات النهائية للجدوى. وتواجه تقديرات الإنشاء والمعدات المشكلات نفسها من حيث درجة الدقة التي تصاحب أية تقديرات هندسية أخرى.

وتبرز بعض الصعوبات في تحويل التكاليف الاستثمارية إلى تكاليف سنوية. وإذا كان للمشروع عمر محدود، كما هو الحال في سير متحرك مركب لنقل الحصى المستخدم لإنشاء سد، مثلاً، تقسم التكلفة الكلية على

العمر المتوقع للمشروع . وتشمل التكلفة الكلية في هذه الحالة الريع وأية تكاليف تمويل أخرى . كما يمكن ، أيضاً ، أن تشمل تقديراً لتكاليف التشغيل الكلية خلال العمر التشغيلي للمشروع . وإذا لم يكن العمر التشغيلي المحدود معروفاً معرفة مؤكدة فيجب افتراضه . ويتمثل أحد الافتراضات في استخدام عمر الالتزامات المالية للمشروع ، فمثلاً ، لو استخدمت لتمويل المشروع سندات بأجل ٥٠ سنة ، فإن رأس المال والفوائد المترتبة عليه ستنتشر على مدى ٥٠ سنة . وقد يكون لهذه الطريقة مزايا لاستحداث حساب لجمع المبالغ التي ستستخدم في النهاية لسداد الالتزامات ولكنها لا تنسجم مع الحقائق الطبيعية والاقتصادية في محاولتها القيام بتقويم عادل للمشروع .

الجدول (١٥,١): عامل استعادة رأس المال (CRF) لأعمال الممتلكات المختلفة ومعدلات الريع.[أ]

العمر	معدل الريع (أو الفائدة)							
بالسنوات	٪٠	٪٢	٪٣	٪٤	٪٥	٪٦	٪٨	٪١٠
٥	٠,٢٠٠٠٠	٠,٢١٢١٦	٠,٢١٨٣٥	٠,٢٢٤٦٣	٠,٢٣٠٩٧	٠,٢٣٧٤٠	٠,٢٥٠٤٦	٠,٢٦٣٨٠
١٠	٠,١٠٠٠٠	٠,١١١٣٣	٠,١١٧٢٣	٠,١٢٣٢٩	٠,١٢٩٥٠	٠,١٣٥٨٧	٠,١٤٩٠٣	٠,١٦٢٧٥
١٥	٠,٠٦٦٦٧	٠,٠٧٧٨٣	٠,٠٨٣٧٧	٠,٠٨٩٩٤	٠,٠٩٦٣٤	٠,١٠٢٩٦	٠,١١٦٨٣	٠,١٣١٤٧
٢٠	٠,٠٥٠٠٠	٠,٠٦١١٦	٠,٠٦٧٢٢	٠,٠٧٣٥٨	٠,٠٨٠٢٤	٠,٠٨٧١٨	٠,١٠١٨٥	٠,١١٧٤٦
٢٥	٠,٠٤٠٠٠	٠,٠٥١٢٢	٠,٠٥٧٤٣	٠,٠٦٤٠١	٠,٠٧٠٩٥	٠,٠٧٨٢٣	٠,٠٩٣٦٨	٠,١١٠١٧
٣٠	٠,٠٣٣٣٣	٠,٠٤٤٦٥	٠,٠٥١٠٢	٠,٠٥٧٨٣	٠,٠٦٥٠٥	٠,٠٧٢٦٥	٠,٠٨٨٨٣	٠,١٠٦٠٨
٣٥	٠,٠٢٨٥٧	٠,٠٤٠٠٠	٠,٠٤٦٥٤	٠,٠٥٣٥٨	٠,٠٦١٠٧	٠,٠٦٨٩٧	٠,٠٨٥٨٠	٠,١٠٣٦٩
٤٠	٠,٠٢٥٠٠	٠,٠٣٦٥٦	٠,٠٤٣٢٦	٠,٠٥٠٥٢	٠,٠٥٨٢٨	٠,٠٦٦٤٦	٠,٠٨٣٨٦	٠,١٠٢٢٦
٥٠	٠,٠٢٠٠٠	٠,٠٣١٨٢	٠,٠٣٨٨٧	٠,٠٤٦٥٥	٠,٠٥٤٧٨	٠,٠٦٣٤٤	٠,٠٨١٧٤	٠,١٠٠٨٦
٦٠	٠,٠١٦٦٧	٠,٠٢٨٧٧	٠,٠٣٦١٣	٠,٠٤٤٢٠	٠,٠٥٢٨٣	٠,٠٦١٨٨	٠,٠٨٠٨٠	٠,١٠٠٣٣
٨٠	٠,٠١٢٥٠	٠,٠٢٥١٦	٠,٠٣٣١١	٠,٠٤١٨١	٠,٠٥١٠٣	٠,٠٦٠٥٧	٠,٠٨٠١٧	٠,١٠٠٠٥
١٠٠	٠,٠١٠٠٠	٠,٠٢٣٢٠	٠,٠٣١٦٥	٠,٠٤٠٨١	٠,٠٥٠٣٨	٠,٠٦٠١٨	٠,٠٨٠٠٤	٠,١٠٠٠١

(أ) L.I. Hewes and C.H. Oglesby, Highway Engineering, Wiley, New York, 1954, p. 60, Table 5.

وغالباً ما يُحسب العمر الاقتصادي للمنشأة على أساس تقديري . وهنا تنشأ مشكلة جديدة لأن العناصر المتعددة للمنشأة ومعداتها تختلف في أعمارها الاقتصادية . فمثلاً ، يمكن أن تتراوح أعمار الشاحنات والجرارات والمقطورات بين ٦ و ١٠ سنوات ، والطائرات بين ١٠ و ١٥ سنة ، والعربات الحديدية والقاطرات والسفن والصنادل بين ٢٠ و ٣٠ سنة . أما المنشآت الخاصة بالنقل فيفترض عمرها بـ ٤٠ عاماً ، وبحلول هذا الوقت ، من المحتمل أن تكون هذه قديمة ، هذا حتى إذا لم تتدهور حالتها تماماً . ويتراوح عمر الرصف بين ٤ و ٤٨ سنة ، ولكن يوصى

عادة باستخدام عمر قدره ٥ ,١٨ سنة . وفي الولايات المتحدة، عادة، لا يتم إهلاك السكك الحديدية ولكن من خلال التحديثات التي تتم باستمرار يمكن إعتبار عمرها لانهائياً. وقد استخدمت أعمار تتراوح بين ٥٠ إلى ١٠٠ سنة في الدراسات الاقتصادية. وقد تبنت مصلحة الطرق العامة الأمريكية عمراً قدره ١٠٠ عام باعتباره عمراً لتسوية الطرق. وقد ينطبق هذا، أيضاً، على تسوية السكك الحديدية والقنوات المائية. وغالباً ما تفترض أعمار اقتصادية أطول مما يمكن أن تبرره دقة التوقعات والتقديرات المتعلقة بتدهور حالة الأصول وانتهاء عمرها. وفي حساب قيم استعادة رأس المال، يتم الحساب لكل عنصر على حدة (أو الحصول على متوسط وزني من خلال استخدام جداول معدلات الريع). وهناك حاجة لمزيد من البحث للقيام بتقويم أكثر دقة للعمر الاقتصادي لمختلف أصناف الممتلكات.

وتوضح المسألة التالية طريقة الأخذ بالاعتبار اختلاف الأعمار الاقتصادية لعناصر المشروع.

صنف الممتلكات	قيمة الاستثمار للميل الواحد (دولار)	العمر الاقتصادي (سنوات)	عامل استعادة رأس المال (CRF) عند ريع ٤٪	التكلفة السنوية (دولار)
حرم السكة	٣٠٠٠	٨٠	٠,٠٤١٨١	١٢٥
التسوية	١١٠٠٠	٦٠	٠,٠٤٤٢٠	٤٨٦
السكة	٧٢٠٠٠	٨٠	٠,٠٤١٨١	٣٠١٠
المنشآت	٢٠٠٠٠	٤٠	٠,٠٥٠٥٢	١٠١٠
الإشارات	٨٠٠٠	٣٠	٠,٠٥٧٨٣	٤٦٣
المجموع	٩٤٠٠٠			

التكاليف الرأسمالية مقابل التكاليف التشغيلية Capital Versus Operating Costs. توجد علاقة أكيدة بين تكاليف الإنشاء وتكاليف التشغيل. ولا تحدث تكاليف الإنشاء إلا مرة واحدة ولكن آثارها تستمر بعد ذلك على شكل مصاريف تمويل وسداد رأس المال، بينما تستمر المصاريف التشغيلية في الحدوث على امتداد عمر المسار حتى بعد إهلاك التكاليف الإنشائية أو استعادتها. وغالباً ماتعمل زيادة الصرف على التشييد أو المعدات على تخفيض تكاليف التشغيل. إلا أن إجراء تحسينات غير ضرورية على المنشأة يترتب عليه مصاريف رأسمالية تثقل الكاهل. ويجب على المهندس تحديد العلاقة بين مقدار التكاليف الإنشائية الإضافية أو التزايدية التي يمكن الالتزام بها، وما يترتب على ذلك من تحسن في الإيرادات والتكاليف التشغيلية، سواء باستخدام طريقة معدل العائد أو أية طريقة أخرى. ويجب عليه النظر لكل بديل في ضوء وضعه المالي من حيث الدخل وقدرته على الحصول على تسهيلات ائتمانية.

تكاليف التشغيل Operating Costs. يمكن الحصول على تكاليف التشغيل من السجلات الحالية وسجلات الخبرة السابقة، أو من المعدلات المقبولة عموماً (كما في الفصل الثاني عشر) من إحصاءات التكلفة الوطنية التي تنشرها الوكالات الحكومية المسؤولة، أو من واقع التكاليف الفعلية لناقل له الوضع نفسه.

وعند افتراض التكاليف لناقل ذي تكاليف «ثابتة» (راجع الفصل الثاني عشر لاسترجاع هذا التعريف)، فلا تستخدم سوى النسبة المئوية المتغيرة من التكاليف الكلية للدلالة على التكاليف الناتجة عن الزيادة أو النقص في حركة المرور.

ووحدات قياس تكاليف التشغيل هي الطن- ميل (الإجمالي أو الإيرادي) أو الـ ١٠٠٠ طن- ميل والمركبة- ميل (أو قطار- ميل، أو شاحنة- ميل، أو طائرة- ميل، أو سفينة- ميل. . . إلخ). وتستخدم وحدة طن/ ميل، عادة، في السكك الحديدية والسيور المتحركة وخطوط الأنابيب وغيرها من دراسات النقل التجاري، ولكن وحدة مركبة- ميل تستخدم ـ أحياناً ـ في المقارنات الخاصة بالطرق.

العلاقة بين حجم الحركة والتكلفة Volume-Cost Relation . قد تُقيد منفعة النظام بتكاليفه المرتبطة بحجم الحركة التي تتم مناولتها. فعلى سبيل المثال، يعد النقل العام السريع عموماً مجدياً اقتصادياً، فقط، في التجمعات السكانية مرتفعة الكثافة التي تصل إلى مليون نسمة أو أكثر. وتقدم السيارات والشاحنات خدمة فردية منخفضة التكلفة، وهي مفيدة اقتصادياً في المناطق منخفضة الكثافة السكانية. ويجب توافر أحجام نقل كبيرة لتبرير التكاليف العالية لخطوط الأنابيب.

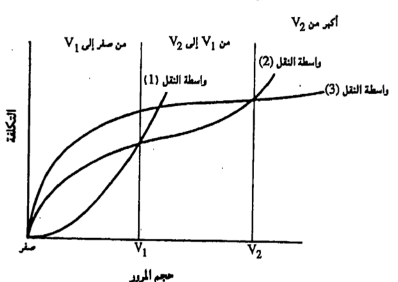
وبإمكان صناعة ما تقويم احتياجاتها من النقل على الأساس التالي: (أ) استخدام شاحنة واحدة أو أكثر للأعمال ذوات الأحجام الصغيرة (V_1)، و(ب) التعاقد مع ناقل تعاقدي لتوفير أسطول من الشاحنات عند زيادة حجم الأعمال (V_2)، و(ج) تأسيس أسطولها الخاص من الشاحنات عندما يزداد حجم الحركة زيادة كبيرة جداً (V_3). انظر الشكل (٢ , ١٥) وأيضاً القسم التالي من هذا الفصل.

فعالية التكلفة
COST EFFECTIVENESS

تقويم فعالية التكلفة Cost Effective Evaluation. يجب تقويم الأنظمة البديلة من خلال عملية منظمة ذات معايير توفر وسيلة للتعرف على الآثار المترتبة على كل منها ومقارنتها. وقد كان التقويم في الماضي مبنياً كلياً، تقريبًا، على معايير التكلفة المالية، مثل تكاليف رأس المال أو معدل العائد أو القيمة المكافئة الحالية أو نسبة الفائدة للتكلفة. وقد وجدت النسبة الأخيرة استعمالاً واسعاً في تقويم المشاريع الحكومية العامة. ولكن هذه الطرق التي شرحت بالتفصيل سابقاً في هذا الفصل، تفتقر للمجال الواسع لإمكانية تطبيقها الذي يعد توفره ضرورياً لإجراءات تحليل النظم.

وهناك طريقة أكثر حداثة تستخدم أساليب فعالية التكلفة التي طورت أولاً لاستخدامها في التخطيط العسكري، إلا أن لها تطبيقات مناسبة في تخطيط النقل. وتوفر طرق تقويم فعالية التكلفة إطاراً مرناً لتطوير

المعلومات التي تساعد على الاختيار بين البدائل. فهي تتيح استخدام البيانات الناتجة عن نموذج نسبة الفائدة للتكلفة، أو أية نماذج اقتصادية أخرى، إلا أنها تمتاز عن الطرق الأخرى بإتاحتها لإمكانية اعتبار العوامل غير الملموسة مثل الآثار الاجتماعية والبيئية، وكذلك قيامها بفصل التكاليف عن الفعالية، وبدلاً من تطوير مقياس واحد مثل نسبة الفائدة للتكلفة أو معدل العائد لقياس قيمة البديل، فإنها تتيح إمكانية تطوير نمو الأهداف استجابةً لمعرفة المجتمع عن الغايات والأهداف والآثار المترتبة عليها.



الشكل (١٥,٢). عوامل التكلفة في اختيار واسطة النقل.

ويعني لفظ «التكلفة» تكاليف المواد والقوى العاملة والمعدات والجهود المطلوبة كافة خلال العمر المفيد للنظام، وتأثير هذه على البيئة الإقليمية التي يعمل النظام داخلها.

أما «الفعالية» فهي درجة تحقيق النظام لأهدافه، فهي مقياس لمنفعة النظام. ويجب أن يلم متخذ القرار بدرجة فعالية كل من الأنظمة البديلة وتكاليف كل مستوى من الفعالية.

ويقصد بـ «العواقب»، أو «المضاعفات»، الآثار المترتبة للنظام المقترح على كل من:

(أ) أولئك الذين يستخدمون النظام أو يقومون بتشغيله أو صيانته (مثل آثار التكلفة والراحة والملاءمة والسلامة والأجور).

(ب) أولئك الذين خارج النظام مثل المجتمع والبيئة (مثل آثار الربح أو الخسارة الاقتصادية والفقد أو الكسب من الضرائب، ودرجة التلوث والمتطلبات من الأراضي والفاقد من الوحدات السكنية وفقد الفرص الوظيفية).

وعادة ما تقاس فعالية التكلفة لمؤسسة خاصة تبحث عن الربح بمقياس اقتصادي واحد، باستخدام أحد النماذج الاقتصادية المعروفة مثل معدل العائد، أو التكلفة السنوية، أو القيمة المكافئة الحالية، أو التدفق النقدي. وتقارن البدائل من حيث الزيادة في الإيرادات أو النقص في التكاليف أو الزيادة في الأرباح نتيجة تغيير موقع مسار

الطريق أو تخفيض درجة الميل أو زيادة حجم المركبة أو إعادة تصميم مواقع المحطات أو تغييرها أو إنشاء مسار جديد أو نتيجة تغيير سياسات التسعير من أرباح عالية لنقل أحجام قليلة إلى أرباح قليلة لنقل أحجام كبيرة. وقد أدت العوامل غير الملموسة دوراً ثانوياً في المشاريع الخاصة. ونظراً لوجود علاقة متبادلة قوية، خصوصاً في الجوانب المالية، آخذة في النمو بين جميع وسائط النقل المختلفة والحكومة، فإن التفريق بين المصالح الخاصة والعامة أصبح غير واضح، وهناك حاجة لإدخال المزيد من العوامل غير الملموسة في تقويم المشاريع والخطط الخاصة.

المثال التوضيحي الأول

قد يكون من المفيد ـ الآن ـ إعطاء مثال على تقويم فعالية التكلفة:

لننظر إلى مشكلة توفير خدمة لنقل الحبوب في إحدى المناطق الزراعية في المملكة العربية السعودية. حيث تعطي الحكومة أهمية كبرى لدعم الإنتاج الزراعي، والهدف المبدئي هو خدمة أكبر عدد من المزارع بأقل تكلفة لكل مزرعة. وبسبب تدهور حالة الطريق، وعدم وجود خطوط للسكك الحديدية، فقد اقترحت مجموعة التخطيط بوزارة النقل والمواصلات خمس شبكات بديلة من الطرق الخلوية ليتم تحسينها حتى يتمكن المزارعون من نقل محاصيلهم من الحبوب إلى صوامع الحبوب الموجودة في موقع مركزي على طريق رئيس. ويحتوي الجدول (٢، ١٥) على التكاليف الرأسمالية وعدد المزارع التي تخدمها كل شبكة من هذه الشبكات.

الجدول (١٥،٢): تكاليف الشبكة وخدماتها.

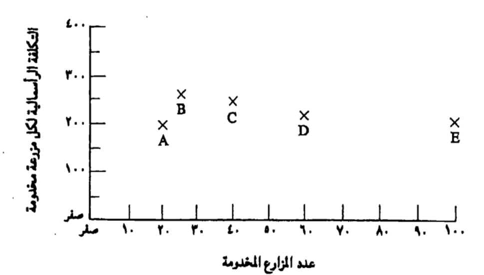
البدائل	التكاليف الرأسمالية	عدد المزارع المخدومة	تكاليف المزرعة الواحدة
أ	٤ ملايين ريال	٢٠	٢٠٠٠٠٠ ريال
ب	٦ ملايين ريال	٢٥	٢٦٠٠٠٠ ريال
جـ	١٠ ملايين ريال	٤٠	٢٥٠٠٠٠ ريال
د	١٤ مليون ريال	٦٠	٢٣٣٠٠٠ ريال
هـ	٢٠ مليون ريال	١٠٠	٢٠٠٠٠٠ ريال

وقد وُضّحت تلك العلاقات توضيحاً أفضل في الشكل (٣، ١٥).

والتكلفة لكل مزرعة مخدومة معطاة في العمود الرابع من الجدول (٢، ١٥)، وهي تبين أن البديلين (أ) و (هـ) يتساويان في التكلفة الرأسمالية للمزرعة الواحدة. وعلى هذا الأساس، فسيتم تفضيل البديل (هـ) لأنه يوفر الخدمة لمجموعة أكبر من المزارع بالتكلفة نفسها. أما بقية البدائل فهي أقل جاذبية.

ولنتعمق أكثر في الموضوع ونفترض أن ميزانية الحكومة لا تتيح سوى استخدام ١٤ مليون ريال، فقط، لهذا المشروع. فإنه يجب إدخال هدف جديد في عملية التقويم وهو أن يتم البقاء ضمن حدود الميزانية. لذلك، فإننا

سنختار أكبر عدد للمزارع المخدومة ضمن حدود الميزانية، وبالتالي، فسنختار البديل (د) الذي يخدم ٦٠ مزرعة فقط، إلا أنه ممكن من وجهة نظر الميزانية ويلبي ذلك الهدف.



الشكل (١٥,٣). تكاليف الشبكة وخدماتها.

وهذه حالة مبسطة جداً، وتنشأ التعقيدات عندما يتم اعتبار كميات الحبوب التي ستتوافر في السوق نتيجة كل بديل من البدائل. فمثلاً، قد تكون الأربعون مزرعة التي استبعدت عند تفضيل البديل (د) على البديل (هـ) مزارع كبيرة وتنتج كميات من الحبوب أكبر بكثير مما تنتجه الستون مزرعة التي اختيرت لخدمتها. وكذلك، فقد اعتبرنا هنا تكاليف رأس المال، فقط، وقد يكون هناك فوارق واسعة في تكاليف صيانة المسارات البديلة، كما قد تتسبب الميول الحادة للطريق، أو تعرجات مساره بحدوث تكاليف تشغيلية أو تكاليف نقل عالية يتحملها المزارعون. كما قد يمر واحد أو أكثر من مسارات الطرق عبر محميات طبيعية، أو قد تتبع مسارات متعرجة تشكل أخطاراً حقيقية لسلامة القيادة. وليست هذه العوامل جميعها قابلة للتقويم الاقتصادي.

المثال التوضيحي الثاني

على سبيل مثال أكثر توسعاً (إلا أنه لايزال مبسطاً جداً)، افترض أن هناك مقترحا لإنشاء مطار إقليمي بوساطة حكومة تضع قيمة كبرى لتطور الصناعة والملاحة الجوية ونموها. ويقع الموقع المقترح بالقرب من مدينة يبلغ عدد سكانها ٢٠٠٠٠٠ نسمة، مع وجود قرى صغيرة تحيط بها وتبعد عنها بما يتراوح بين ٤٠ و ٨٠ ميلاً، ويتراوح سكان كل منها بين ٣٠٠٠٠ و ٨٠٠٠٠ نسمة، والأهداف المعلنة لهذا الجهد التخطيطي هي:

١ - سد الاحتياجات الصناعية المتنامية في المنطقة واستيعاب النمو المتوقع في الحركة والتطور التقني.
٢ - تخفيف عبء الحركة عن المطارات في المدن المحيطة.

٣ - تحقيق جدوى مالية.
٤ - الانسجام مع البيئة، بما في ذلك تحقيق سلامة استخدامات الأراضي المجاورة.

ويعطي الجدول (٣, ١٥) بيانات إضافية (وافتراضية) تتعلق بثلاث خطط ومواقع بديلة، والمطلوب هو استخدام طرق تقويم فعالية التكلفة لاختيار أحد المواقع البديلة.

الجدول (١٥,٣): بيانات الخطط والمواقع البديلة.

البند	البديل (أ)	البديل (ب)	البديل (ج)
الأرض المطلوبة	٣٠٠٠ فدان	٢٥٠٠ فدان	٢٠٠٠ فدان
التكلفة التقديرية	٧٦٠٠٠٠٠٠ دولار	٦٦٠٠٠٠٠٠ دولار	٧٠٠٠٠٠٠٠ دولار
الأعداد المقدرة للمسافرين المغادرين والقادمين	١٢٠٠٠٠٠	١٠٠٠٠٠٠	٩٠٠٠٠٠
الأعداد المقدرة لعمليات الهبوط والإقلاع	١٠٠٠٠٠	٩٠٠٠٠	١٢٠٠٠٠
الفاقد في حركة المطارات المجاورة (سنويا)	٢٠٠٠٠٠	١٠٠٠٠٠	١٠٠٠٠٠
الفاقد في المحاصيل بسبب نزع الأرض	٢٤٠٠٠٠ بوشل	٢٠٠٠٠٠ بوشل	١٠٠٠٠٠ بوشل
الوحدات السكنية المفقودة بسبب نزع الأرض (لكل مليون مسافر)	٦٠	١٢٠	٣٨٠
القرب من مصادر الحركة	٢٠ ميلاً	١٥ ميلاً	١٠ أميال
موقع أقرب منطقة سكنية لممرات الاقتراب من المدرجات	٥ أميال	ميلان	٠,٥ ميل
عدد المركبات الداخلة لطريق المطار في اليوم	٥٠٠٠٠٠	٥٠٠٠٠٠	٥٠٠٠٠٠
تكاليف التشغيل (المطار فقط)	٦٠٠٠٠٠٠٠ دولار	٩٤٠٠٠٠٠٠ دولار	٥٦٠٠٠٠٠٠ دولار
إيرادات التشغيل	١١٥٠٠٠٠٠٠ دولار	٩٠٠٠٠٠٠٠ دولار	١١٠٠٠٠٠٠٠ دولار
نسبة الفائدة (الريع)	٨٪	٨٪	٨٪
العمر الاقتصادي	٣٠ سنة	٣٠ سنة	٣٠ سنة

ويمكن إجراء بعض التقويم الفوري من الجدول. من الاعتبارات الأساسية القدرة على تلبية الاحتياجات المتنامية للمدينة والمنطقة والدولة. ومن الواضح أن البديل (أ) يخدم عدداً أكبر من المسافرين، والبديل (ج) يخدم أقل عدد منهم. كما أن الفاقد في حركة المطارات المجاورة (أو تخفيف عبء الحركة) للبديل (أ) هو الأكبر أيضاً، في حين يتساوى ذلك للموقعين (ب) و(ج) عند مقدار أقل بكثير. ولذا، فإن الموقع (أ) يفي بالهدفين الأولين. كما أن الكميات النسبية للأرض، وتكاليف الإنشاء وتكاليف التشغيل، والإيرادات كلها توضح أفضلية الموقع (أ).

ونظراً لقرب موقع البديل (ج) من مركز مصادر الحركة خصوصاً للمدينة الكبرى، يتوقع أن يكون هناك عدد أكبر من عمليات الإقلاع والهبوط لطائرات رجال الأعمال وطائرات الترفيه الخاصة لهذا البديل.

وترتبط التكاليف الاجتماعية بأعداد الوحدات السكنية المفقودة في كل موقع لاستغلال مساحاتها في إقامة المنشآت، وإخلائها لممرات الاقتراب من المدارج. ويوضح الشكل (٤, ١٥ أ) عدد الوحدات السكنية المزالة لكل مليون مسافر. ويسبب البديل (ج) أسوأ تأثير، من حيث الفاقد، في المساحة السكنية، ويمكن إجراء تقويم مماثل من حيث عدد عمليات الإقلاع والهبوط إلا أنه ليس بالدرجة نفسها من الدلالة.

وتعد السلامة عاملاً مهماً دائمًا، وإن كان غير ملموس أحياناً. وقد ارتبطت التكاليف الاقتصادية بأنواع معينة من الحوادث إذا كان لدى المرء تقدير معقول لعدد الحوادث المتوقع وقوعها. وتعد الأخطار المتصلة بعمليات الإقلاع والهبوط أكثر بروزاً ضمن المناطق القريبة جداً من المطار. ويمكن أن يتناسب ترتيب البدائل حسب درجات خطورتها عكسياً مع المسافة بين موقع البديل وموقع أقرب منطقة مأهولة. انظر الجدول (٤, ١٥).

الجدول (١٥,٤): أخطار الحوادث وعلاقتها بالمسافة من المطار.

البديل	المسافة إلي المنطقة المأهولة بالسكان بالأميال	درجة الخطر
أ	٥	١,٠
ب	٢	٢,٥
ج	٠,٥	١٠,٠

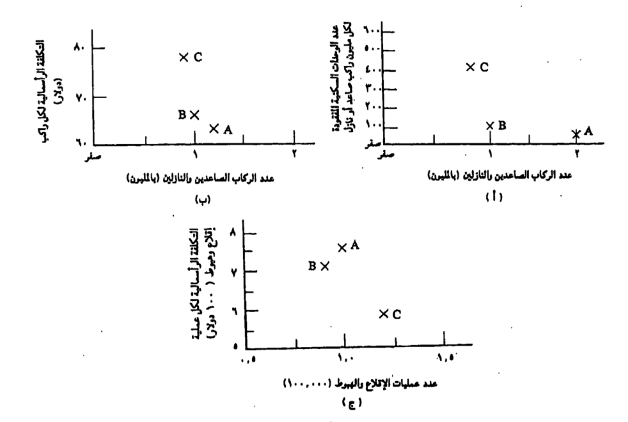
وكما يظهر من الجدول، فإن درجة سلامة البديل (أ) تعد مساوية بمقدار مرتين ونصف لدرجة سلامة البديل (ب)، وبمقدار عشر مرات لدرجة سلامة البديل (ج). والإمكانية الأخرى هي الحصول على سجلات تكرار الحوادث كدالة في البعد عن نقطة الإقلاع أو الهبوط، واستخدام هذه الاحتمالات مقياساً لدرجة الخطورة. ولم نُطوّر هنا تكاليف مالية لدرجة الخطورة ولكن ُحصل على مقياس للسلامة النسبية.

ويمكن معالجة آثار التلوث الصوتي أو الضوضاء بالطريقة نفسها التي عولج بها جانب السلامة. ويمكن استخدام مستويات شدة الصوت على مسافات مختلفة، وذلك لأنواع الطائرات التي يتوقع تحليقها، وكذلك بالنسبة لأنماط الطيران المتوقعة.

ويمكن تحليل التكاليف المالية أولاً من حيث التكلفة لكل مسافر. وبقسمة التكلفة الرأسمالية الكلية على العدد الكلي للمسافرين القادمين والمغادرين، نحصل على سلسلة من التكاليف على النحو المبين في الشكل (٤, ١٥ب). ويمكن، أيضاً، الحصول على تكلفة مشابهة لكل راكب بناء على التكاليف التشغيلية المقدرة. وبالمثل، يمكن حساب التكاليف لكل عملية إقلاع أو هبوط على أساس التكاليف الرأسمالية، كما هو مبين في الشكل (٤, ١٥ج)، ويمكن تحليل الإيرادات بالطريقة نفسها.

وقد تبين أن التكلفة الرأسمالية لكل عملية إقلاع وهبوط هي الأقل للبديل (ج) في حين تختلف للبديلين (أ) و(ب) اختلافاً بسيطاً. وعند التعمق في تلك الفوارق، نجد أن هناك عددًا أكبر من عمليات الطيران الخاص

للترفيه وللأعمال باستخدام البديل (ج) نظراً لقرب موقعه من المدينة المساندة. وهذا يثير تساؤلات حول الغايات: هل ترغب الحكومة في تخصيص مبالغ مالية كبيرة لتوفير مرافق الطيران للطائرات الخاصة؟ ويمكن إجابة هذا السؤال بالنفي أو الإيجاب حسب القيم التي يحملها متخذو القرارات وعامة المجتمع الذي يمثلونه. والأمر المهم هو أن هذا التحليل قد أظهر الحاجة لأخذ هذا السؤال في الاعتبار.



الشكل (١٥,٤). تحليل فعالية التكلفة.

وتتيح هذه الطرق إدخال نسبة الفائدة للتكلفة كخطوة من خطوات التقويم. وقد شرحنا في قسم سابق بالتفصيل طرق حساب هذه النسبة، وتطرقنا إلى بعض دلالاتها وصعوباتها. ولهذا المثال، فقدُقدّرت التكاليف الإنشائية والتكاليف التشغيلية كماُقدّرت الإيرادات. وبالإضافة إلى ذلك، لابد من حساب الوفورات في الأميال التي قطعها العامة للوصول إلى المطار بسبب موقع المطار. وتساوي تكلفة الوصول للمطار حاصل ضرب المسافة بالأميال من مركز توليد الحركة أو جذبها في عدد المسافرين (بافتراض أن كل مسافر قادم أو مغادر يمثل رحلة في كل اتجاه باستخدام السيارة الخاصة أو سيارة أجرة) في التكلفة لكل مركبة- ميل (مأخوذة هنا بمقدار ١٢ , ٠ دولار). انظر الجدول (١٥,٥).

الجدول (١٥,٥): نسبة الفائدة للتكاليف.

البديل	التكاليف الرأسمالية	التكاليف التشغيلية	تكاليف الوصول	نسبة الفائدة للتكلفة
أ	٧٦ مليون دولار	٦٠مليون دولار	١١٥مليون دولار	١,٦٥
ب	٦٦مليون دولار	٥٤مليون دولار	٩٠مليون دولار	١,٦١
ج	٧٠مليون دولار	٥٦مليون دولار	١١٠ملايين دولار	١,٧٤

ويمكن اقتراح عدد من التعديلات والإضافات لما سبق، إذ يمكن تقسيم تكلفة مسافة الوصول للمطار إلى تقسيمات فرعية تشمل السيارة الخاصة والحافلة وحتى النقل العام السريع إذا كان متوافراً. ويمكن حساب الفوارق في أزمان الانتقال للبدائل الثلاثة بحيث تحسب كل دقيقة تُوفّر أو تُفْقدَ على أساس معدل الأجور للمجتمع، أو بمقياس مماثل. ولم تعتبر تكاليف شركات الطيران التي تخدم المطار. وقد يتشعب التحليل في الممارسة العملية تشعباً كبيراً، وهذا المثال سيعمل على توضيح الطريقة، فقط.

وعلى كل، فإن نسبة الفائدة للمنفعة تبين أن البديل (ج) يمتاز بأكبر عائد لكل دولار ينفق مقارنة بالبديلين الآخرين. ولكن ينبغي أخذ هذه النتيجة مقرونة بغيرها من المعايير. ويمكن تلخيص المعايير السابقة لهذا المثال كما يظهر في الجدول (١٥,٦).

الجدول (١٥,٦): ملخص معايير تقويم فعالية التكلفة.

المعيار	البديل (أ)	البديل (ب)	البديل (ج)
التكاليف الرأسمالية	٧٦ مليون دولار	٦٦ مليون دولار	٧٠ مليون دولار
التكاليف التشغيلية السنوية	٦٩,٦ مليون دولار	٥٦ مليون دولار	٦٢ مليون دولار
الإيرادات السنوية	١١٥ مليون دولار	٧٠ مليون دولار	١١٠ ملايين دولار
نسبة الفائدة للتكلفة	١,٦٥	١,٦١	١,٧٤
ترتيب السلامة من الأخطار	١	٢,٥	١٠
الوحدات السكنية المفقودة لكل مليون مسافر	٥٠	١٢٠	٣٨٠
التكاليف الرأسمالية لكل مسافر	١٧, ٦٤ دولار	٦١ دولاراً	٧٧,٧٧ دولار
التكاليف الرأسمالية لكل عملية هبوط وإقلاع	٧٦٠ دولار	٧٣٣ دولاراً	٥٨٣ دولاراً
آثار التلوث	١	٢,٥	١٠
الخسارة في إنتاجية المزارع (بوشل في السنة)	٢٤٠٠٠٠	٢٠٠٠٠٠	١٠٠٠٠٠
أعداد البوشل المفقودة في السنة لكل مسافر	٠,٢	٠,٢	٠,١١
القدرة على تلبية الطلب	١	٣	٢

ويتضح من الجدول السابق وجود عدد من العوامل المتضاربة، ويمثل البديل (أ) أعلى البدائل من حيث التكاليف الرأسمالية والسنوية، إلا أنه، بالرغم من أن إيراداته هي الأعلى، فإن نسبة الفائدة للتكلفة له ليست هي الأكبر. ويمتاز البديل (ج) بأعلى نسبة فائدة للتكلفة، وأقل تأثير على إنتاجية المزارع، إلا أن له تأثيراً عكسياً خطيراً على الفقد في الوحدات السكنية، كما أن مستواه ضعيف من حيث السلامة والتلوث. ولكن البديل (أ) يحتل المرتبة الأولى من حيث القدرة على تلبية الطلب.

إن هذه الطريقة لا تعطي إجابة محددة، إنما تقوم ـ بدلاً من ذلك ـ بتعريف الآثار المترتبة على كل بديل، وتشير إلى الإمكانيات التبادلية لكل منها. ولايزال على متخذي القرارات اتخاذ القرار المناسب، إلا أن القرار في ظل هذه المعطيات سيكون قراراً مدروساً دراسة أفضل.[٣]

ويمكن الأخذ في الاعتبار جوانب إضافية للتحليل، مثل الآثار المستقبلية على استخدامات الأراضي الحالية والآثار المترتبة على تكاليف التمويل والطلب على الحركة خلال مراحل التشييد وتكاليف شركات الطيران التي تخدم المطار وفوائدها. وأما مسألة تحديد الموقع المناسب لجذب عدد أكبر من الصناعات إلى المنطقة، فهذه دراسة مستقلة بذاتها. وقد تعاملنا مع المعطيات الاجتماعية والبيئية تعاملاً سطحياً، فقط، وسنولي هذا الموضوع جانباً أكبر من المناقشة في جزء لاحق من هذا الفصل.

وسوف نتناول في الفقرات التالية طريقة الوزن التي تساعد في إجراء المقارنة بين البدائل الثلاثة بمعاييرها المختلفة.

معايير أخرى
OTHER CRITERIA

دراسة التأثير على البيئة Environmental Impact Statement. ينص القانون في الولايات المتحدة على ضرورة إجراء دراسة تقويمية تتعلق بالآثار البيئية العريضة للمشاريع الرئيسة التي تشارك في تمويلها الحكومة الاتحادية بما في ذلك مشاريع الطرق والسكك الحديدية والممرات المائية عبر اليابسة. وتتطلب هذه المشاريع إعداد تقرير حول الآثار البيئية المترتبة على المشروع. ويجب أن يحتوي تقرير الآثار على العناصر التالية: (١) بيان للآثار التي ستترتب على النشاط أو المشروع المقترح على البيئة، (٢) بيان للآثار العكسية المعروفة التي تحدث خلال إنشاء المشروع وتنفيذه، (٣) وصف لإجراءات التصرف البديلة، (٤) شرح للآثار على المدى القصير مقابل الآثار على المدى الطويل والمتعلقة بالحفاظ على البيئة وتعزيزها، و(٥) بيان بالمواد التي ليس لديها القابلية للاسترجاع والتي سيستهلكها تنفيذ المشروع.

---

(٣) للتوسع في هذا الموضوع يمكن الرجوع إلى:

The National Cooperative Research Program Report 96, "Stragegies for the Evaluation of Alternative Plans".

ولابد من توزيع هذا التقرير على جميع الجماعات والهيئات المهتمة بالموضوع وعقد جلسات نقاش كي تتمكن قطاعات المجتمع كافة من الإلمام بآثار المشروع البيئية وإعطائها الفرصة لقبول فكرة المشروع أو معارضتها. وبالقيام بذلك على هذا النحو، يمكن إتاحة الفرصة للمواطن بالمشاركة والإدلاء برأيه في عملية التخطيط. (انظر القسم الخاص بمشاركة المواطن والمجتمع في نهاية الفصل). والهدف الأساسي لإعداد هذا التقرير ومناقشته على جميع المستويات هو في النهاية لحماية البيئة والمحافظة عليها.

إعطاء وزن حسب الأهمية Weighting. يمثل تقويم مجموعة من المعايير كالتي في الجدول (٦ ,١٥) عدداً من الصعوبات من حيث: ما هي درجة الأهمية التي يجب إعطاؤها لكل عامل مقابل العوامل الأخرى؟ وكيف يمكن مقارنة معيار ملموس، مثل نسبة الفائدة للتكلفة، بنسبة مئوية مذكورة للمواد الملوثة في الجو؟ ويساعد إعطاء أوزان لمختلف المعايير حسب أهميتها في التغلب على هذه المشكلة. وعادة ما تخضع عملية إعطاء الأوزان لتقدير الشخص الذي يقوم بذلك فهي ليست مبنية على أسس محددة، وتقوم مجموعة أو أكثر من الأفراد بإعطاء أرقام لكل عامل تشير إلى أهميتها المقدرة. ومن الواضح أن الأوزان المعطاة ستتفاوت بتفاوت كل من نوع النظام أو المشروع والغايات والأهداف والأفراد أو المجموعات الذين يقومون بإعطاء الأوزان. ويمكن أن يقوم بعملية إعطاء الأوزان خبراء فنيون في هيئة تخطيطية أو أفراد الفريق الاستشاري أو مجموعة استشارية من المواطنين. انظر القسم التالي حول مشاركة المواطنين.

ففي الجدول (٦ ,١٥)، على سبيل المثال، يمكن اعتبار نسبة الفائدة للتكلفة أهم المعايير حسب تقدير أحد الحكام الذي يقوم بإعطائها الرتبة رقم (١)، وقد توضع مسألة الفقد في عدد الوحدات السكنية في الرتبة رقم (٢)، أما الفقد في الإنتاج الزراعي فقد يعد عديم الأهمية وقد يعطى الرتبة رقم (٧) أو (٨)، وقد يعد حكم آخر قائمة ترتيب مختلفة تماماً عن هذه.

ولإعطاء أهم معيار أكبر درجة في الترتيب، يعكس الترتيب السابق على أساس $(n-1)$، $(n-2)$. . . إلخ، حيث إن (n) = العدد الكلي للعناصر المرتبة. وهناك ١٢ عنصراً مرتباً في الجدول (٦ ,١٥) الخاص بالمسألة التوضيحية السابقة. وبذلك يصبح الترتيب العكسي السابق كالتالي: (١١)، و(١٠)، و(٥ أو ٤) على التوالي. ولتقليل تأثيرات التقدير الشخصي المتحيز، يجب أن يُعدّ عدد من الأشخاص أو المجموعات قوائم مستقلة للترتيب تُجَمع فيما بعد لإعطاء أوزان مركبة أو مشتركة. إذ يصبح الترتيب المركب للمعيار (j) هو، ببساطة، مجموع الرتب المعطاة للمعيار (j) من كل حكم (i) عندما يكون هناك عدد (m) من الحكام الذين يقومون بترتيب عدد (n) من المعايير، أي أن الرتبة المركبة (R_j) هي:

$$R_j = \sum_{i=1}^{i=m} R_{ij} \quad \text{for} \quad j = 1,\ 2,\ \cdots,\ n$$

ويُحصل على قيمة الرتبة أو الوزن أو المنفعة المركبة الموحدة الأساس (u_j) بقسمة الرتبة المركبة للمعيار (j) على مجموع الرتب المركبة كلها والتي يبلغ عددها (n):

$$U_j = \frac{R_j}{\sum_{j=1}^{j=n} R_j}$$

وهناك أسلوب آخر يستخدم سلم الرتب، إذ يمكن استخدام ألفاظ وصفية مثل ممتاز وجيد ومقبول وضعيف . . . إلخ، إلا أن هذه الطريقة تميل لإيجاد تحيز، ومن الصعب جمعها للمعايير المتعددة. وبالمقابل، فإن الترتيب الرقمي يقلل من التحيز ويتيح إمكانية الجمع بين الرتب للمعايير المختلفة. ويتم ذلك بوضع قائمة من المعايير على شكل عمود على أحد جانبي ورقة التحليل، ويوضح سلم للترتيب يتراوح بين صفر و ١٠٠ على الجانب الآخر من الورقة. وعند تخصيص رتبة معينة لكل معيار، ترسم على ورقة التحليل على شكل خط يمتد من الصفر حتى الرقم المناسب على سلم الترتيب. وبعد الانتهاء من جميع المعايير، يمكن إعادة ترتيب المعايير في القائمة تنازلياً حسب درجة ترتيبها.

وكما هو الحال في الطريقة السابقة، يمكن الحصول على ترتيب رقمي عن طريق جمع درجات الترتيب التي أعطاها كل من المحكمين المختلفين:

$$V_j = \sum_{l=1}^{l=m} V_{lj} \qquad \text{for} \quad j = 1,\ 2,\ \cdots,\ n$$

حيث إن:

V_j = درجة الترتيب المركبة لكل معيار

V_{ij} = درجة الترتيب المعطاة للمعيار i بوساطة الحكم j.

n = عدد المعايير

m = عدد الحكام

ويمكن الحصول على الرتبة أو المنفعة المركبة لكل معيار كما في الطريقة السابقة، أي:

$$U'_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^{j=n} V_j}$$

حيث إن:

U'_j = الرتبة الموحدة الأساس.

ويمكن الحصول على التأثير المشترك للرتبتين المركبتين عن طريق أخذ متوسطهما حيث:

$$\text{متوسط}\ U_j = \frac{\left(U'_j + U_j\right)}{2}$$

وبعد تحديد المعايير، فإن الخطوة التالية هي تطبيق هذه المعايير على كل بديل من البدائل المختلفة لتحديد قيمة فعالية كل منها. ويقوم كل حكم من الحكام بتقويم كل معيار على حدة وإعطائه قيمة الفعالية التي يراها على

الأساس التالي: درجة كاملة عندما يفي البديل المعين بجميع جوانب المعيار، ونصف درجة عندما لا يثبت للبديل أي مزايا أو عيوب، أما الصفر فيدل على أنه لا يمكن تلبية المعيار.

وبالنسبة لأي بديل (i) من البدائل التي يصل عددها إلى (K)، فإن حاصل ضرب قيمة فعالية البديل في قيمة المنفعة لمعيار معين يعطي قيمة منفعة البديل للمعيار المعين (j) الذي هو أحد المعايير التي يصل عددها إلى (n)، وبجمع حاصل الضرب لجميع المعايير نحصل على:

$$U_{it} = \sum_{j=1}^{j=n} e_{ij} \ U_j$$

حيث إن

U_{it} = الفعالية الكلية للبديل i.

ومرة أخرى، فإنه يمكن حساب الفعالية الكلية على أساس موحد كالتالي:

$$U'_{it} = \frac{U_{it}}{\sum_{j=1}^{j=n} U_{jt}}$$

ويمكن، بعد ذلك، وضع المنفعة الإجمالية لكل خيار على شكل جدول حسب البديل ودرجة ترتيبه التي يشار إليها بخانة أو خانتين من الأرقام. والطريقة المعطاة أعلاه مبنية على طريقة مقترحة في دراسة لاختيار موقع مطار في إحدى المناطق الأمريكية.[٤]

مشاركة المجتمع والمواطن Community-Citizen Input. لنظام النقل تأثير كبير على المجتمع وأفراده من المواطنين سواء على المستوى المحلي أو الإقليمي أو الوطني. ومن المفترض أن يصمم النظام لخدمة المجتمع، خصوصاً أن أفراد المجتمع هم الذين يستخدمونه، ويولدون الحركة المرورية عليه، ويدعمونه ماليًا، وأحياناً سياسياً. لذا، فإن مشاركة المجتمع والمواطن تعد عاملاً مهماً في عملية التخطيط.

ويستطيع بعض أصحاب المصالح الخاصة من خلال سلطتهم المالية أو الصناعية أو السياسية القوية التأثير تاثيراً مباشراً أو غير مباشر وبطريقة غير معلنة على عملية التخطيط واتخاذ القرارات. وفي أحيان كثيرة، فإن المشاركة الفردية أو مشاركة المجموعات والأحياء الصغيرة تكون مفقودة بالرغم من أنهم هم الذين يتأثرون تأثراً كبيراً، خصوصاً على الصعيد العملي والتشغيلي، بمدى ملاءمة الخدمة والآثار البيئية وخلخلة تجانس استخدامات الأرض وفقد قيم المجتمع وفقد الوحدات السكنية وفقد فرص العمل، التكاليف والضرائب. وهناك حاجة لموازنة

---

(٤) Walter C. Vodrazka, Charles C. Schimpeler, Joseph C. Carradino, Citizen Participation in Louisville Airport Site Selection, Citizen's Role in Transportation, Transportation Research Record 555, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D. C., 1975.

مكتسبات مجموعة معينة مقابل تضرر جماعة أخرى. وتتطلب هذه العملية من الأطراف المتأثرة كافة المشاركة في عملية التخطيط بدلاً من قيام مجموعة صغيرة من الخبراء الفنيين بتطوير الخطة (التي توضع ، في الغالب، لإفادة قلة من أصحاب المصالح الخاصة ذوي النفوذ القوي) وعرضها للتنفيذ بغض النظر عن الرغبات الفعلية للسكان المحليين. وقد تعتمد ثقة العامة في وكالات التخطيط، سواء أكانت على مستوى وزارة النقل الوطنية، أم هيئات التخطيط الإقليمية أم المحلية، وكذلك مدى قبولهم للخطط المطورة، على مدى الاهتمام بمشاركة المواطن في عملية التخطيط.

إذن، تعد مشاركة المجتمع والمواطن (وللتسهيل، سنشير إليها فيما بعد بمشاركة المواطن) أمراً مرغوباً فيه للأسباب التالية:

(أ) للاستفادة من مرئيات أولئك الذين يتأثرون تاثراً مباشراً ويومياً ورغباتهم، أي مستخدمي المشروع المقترح الذين يسكنون بجواره.

(ب) لكسب التأييد والدعم لأي خطة أو بديل يختار للتنفيذ والتأييد للوكالة التي تتبناه.

ويمكن، عموماً، إشراك المواطن بإحدى طريقتين (وأحياناً بكليهما):

(أ) تطور وزارة النقل أو هيئة التخطيط الإقليمية أو البلدية أو إستشاري يمثل إحدى تلك الهيئات خطة أو خطتين، ثم تعرض البدائل أو ربما إحدى الخطتين في اجتماع عام على المواطنين بدون إعطائهم معلومات مسبقة عن الخطة، أو بإعطائهم قليلاً من المعلومات، فقط. وبعد اجتماع واحد أو ربما اجتماعين من هذا النوع، يطلب من المواطنين إعطاء ملاحظاتهم وموافقتهم أو رفضهم للخطة المعروضة (وإن كانت الموافقة هي المتوقعة) وبالتالي، الموافقة على دعم المشروع مالياً من خلال الضرائب.

(ب) يشرك العامة في عملية التخطيط من خلال طلب الإدلاء بآرائهم ومساعدتهم كجزء من الجهد المستمر المبذول. وتؤخذ الاقتراحات ووجهات النظر باحترام وتُسجّل مزايا كل موقف معين وعيوبه أو مجموعة من المواقف. ويستطيع المواطن أن يرى أين تقع مشاركته، سواء أكانت لصالح الاقتراح المعين أو ضده، بالنسبة للغايات والأهداف والقيود التي يجب، ضمنها، تطوير واحد أو أكثر من البدائل. وهناك احتمال كبير لتوافر دعم المواطنين وقلة المعارضة عند القيام بمثل هذا الأسلوب للتخطيط تخطيطاً سليماً.

ويمكن أن تأتي مشاركة المواطنين من عدة طرق:

(أ) يمكن عقد اجتماعات دورية وفي أماكن مناسبة وملائمة خلال عملية التخطيط. ومن المؤمل أن توفر هذه الاجتماعات، التي يُعلن عنها إعلاناً واسعاً، الفرصة لجميع المهتمين بالتخطيط المقترح أن يعبروا عن آرائهم أو اعتراضاتهم أو اقتراحاتهم. ويمكن للمواطنين التعبير عن آرائهم شفهياً في الاجتماعات التي تدعم باستبيانات أو خطابات مكتوبة أو أية وسيلة اتصال أخرى. ولا يكون التعبير عن الرأي مفيداً إلا إذا أعطي المواطن ملخصاً عما أنجز في الخطة وزُوّد بالبيانات الوثيقة الصلة بالموضوع.

(ب) يمكن تنظيم لجان استشارية من المواطنين والتي يجب أن تكون عضويتها ممثلة بقطاع عريض من شرائح المجتمع من حيث الأعمار وأماكن الإقامة ومكان العمل أو الوظيفة ونوعها. كما يمكن إشراك المجموعات

ذات المصالح الخاصة مثل التجار وتجار العقار والمهتمين بحماية البيئة والمهندسين والمحامين والمعماريين، إلا أن عدداً من هؤلاء لهم طرقهم الخاصة في إيصال وجهات نظرهم. ويجب التركيز على حسن تمثيل ما يمكن تسميته بالمواطن العادي.

ويمكن أن تعمل هذه المجموعات كوسائل اتصال مع بقية أفراد المجتمع، وتقوم بنشر المعلومات وجمع الملاحظات المهمة، وبوصفها مصادر للأفكار، ويمكن أن تعمل على تسليط الضوء على احتياجات المجموعات والمناطق المختلفة، وتأثيرات هذه الاحتياجات على البدائل المقترحة. وستكون مساهمة المواطنين مركزة على المستوى التشغيلي من حيث المسارات وتكرار الخدمة والجداول الزمنية والضوضاء والتلوث... إلخ. ومعظم المساهمات ستتركز، أيضاً، على الآثار التي قد تحدثها الخطط البديلة على الاستخدامات المحلية للأراضي، خصوصاً أراضي الأفراد الذين قاموا بالمشاركة. وقد يساهم المواطن في عملية إعطاء أوزان للأهمية وسلم الرتب الذي سبق شرحه سابقاً. ويمكن، أيضاً، تحسينها للحصول على أوزان ورتب للغايات والأهداف للإستعانة بها في تشكيل الخطط وتركيبها.

وقد تكون قيم المجتمع وأهدافه التي يُحصل عليها بهذه الطريقة مختلفة اختلافاً كبيراً عن تلك المفترضة بوساطة هيئة التخطيط. وقد أظهرت الخبرات السابقة أن من أهم الفوائد التي تنتجها هذه المشاركة هي إمكانية اتخاذ قرار بوقف جميع الجهود المتعلقة بخطة أو هدف معين لأنها لا تحظى بالتأييد المطلوب. ولا توجد مجموعة فردية من القيم التي تلبي احتياجات جميع أجزاء المجتمع ورغباته. لذا، فإن الغايات ستختلف أيضاً.

ويجب تفادي بعض المزالق والأخطاء عند إشراك المواطن في عملية التخطيط كالتالي:

(أ) يجب أن تعطى المجموعات أو اللجان المشاركة مهام واقعية لأدائها، وإلا فإنها ستشعر أن دورها شكلي فقط، وأنه قد جرى إستغلالها غطاء فقط. وقد ينشأ عن ذلك معارضة للمشروع.

(ب) يجب أن تكون عضوية المجموعات أو اللجان موسعة ومتباينة المشارب لتجنب ظهور اتهامات ممكنة بأنه قد جرى تجميع أعضاء يمثلون وجهة نظر منحازة، أو يمثلون قطاعاً معيناً من المجتمع.

(جـ) يجب الاهتمام باقتراحات أعضاء اللجنة وآرائها، وإذا لم يُتبن إقتراح معين يجب توضيح أسباب رفضه.

وقد يسبب عدم الاستجابة لمشاركات المواطنين آثاراً أكثر ضرراً من عدم دعوتهم للمشاركة ابتداء.

ويمكن الحصول على معلومات مفيدة عن أساليب إشراك المواطنين والمجتمع في عملية التخطيط وعن برامج تفعيل المجتمع في المرجع رقم (٢) في قائمة القراءات المقترحة في نهاية هذا الفصل. ويحتوي هذا المرجع على شرح مفصل للإجراءات، وعلى الخطوط العريضة للتنظيم والإدارة والاستراتيجيات والآثار ومصادر البيانات ونماذج نظرية وعلى أمثلة تطبيقية.

ويعطي الجدول (٧ , ١٥) إطاراً مقترحاً على شكل مصفوفة لإستخدامه في تقويم الأنظمة والبدائل المختلفة. ويمكن إدخال قيم رقمية أمام كل خاصية من الخصائص أو أثر من الآثار المترتبة على البدائل المقترحة حسب تقدير المحكم.

الجدول (١٥,٧): خصائص واسطة النقل وآثارها وتقويم بدائل المشروع.

الخاصة أو العامل أو التأثير	تقويم بدائل المشروع (من ضعيف إلى ممتاز على أساس ١ إلى ٥ أو أي ترقيم آخر)			
	البديل ١	البديل ٢	البديل ٣	البديل ٤
ملاءمة الخدمة:				
- السعة				
- سهولة الوصول				
- توافرها عند الحاجة				
- القدرة على التوصيل من الباب للباب				
- القدرة على الأداء تحت جميع أحوال الطقس				
- مرونة : الطريق				
نوع المنقولات				
كمية المنقولات				
- حدوث التحويل والتبديل من مركبة لأخرى				
- التنسيق مع وسائط النقل الأخرى				
- خصوصية المستخدم				
- الراحة وتسهيلاتها				
التقويم الإجمالي للخدمة				
السلامة والاعتمادية				
- نظام الإرشاد والتحكم				
- التأثر بالطقس				
- خصوصية حرم الطريق				
- القدرة على التوقف بسلام عند تعطل بعض الأجهزة				
- الحاجة للمحافظة على الحركة				
- حدوث الارتجاجات والصدمات				
- معدل الحوادث				
- معدل الخسائر والأضرار				
- الحاجة للتحكم ببيئة الرحلة من حيث الحرارة والضغط والتهوية . . . إلخ				
التقويم الإجمالي للسلامة				
التأثيرات على المجتمع				
- القدرة على تلبية الاحتياجات				

تابع الجدول (١٥,٧): خصائص واسطة النقل وآثارها وتقويم بدائل المشروع.

الخاصة أو العامل أو التأثير	تقويم بدائل المشروع (من ضعيف إلى ممتاز على أساس ١ إلى ٥ أو أي ترقيم آخر)			
	البديل١	البديل٢	البديل٣	البديل٤
- كمية الأرض المطلوبة				
- فرص العمل المفقودة أو المكتسبة				
- فرص الإسكان المفقودة أو المكتسبة				
- إمكانية حدوث حواجز طبيعية فاصلة				
- التأثير الجمالي				
- تأثيرات التلوث				
- التأثير على نمو المجتمع				
- العلاقة مع المخطط العام				
إجمالي التأثير على المجتمع				
التأثير البيئي				
- التأثير على الكائنات الحية وبيئتها :				
المزروعات				
الحيوانات				
التربة				
تصريف المياه				
- تأثير التلوث :				
الهوائى				
المائي				
الضوضاء				
البصري				
الاهتزازي				
إجمالي الآثار البيئية				
استعمال الطاقة				
- الكفاءة الحرارية للاستخدام				
- توافر نوع الوقود المستخدم				
- الكمية المستخدمة لكل طن-ميل أو راكب-ميل				

تابع الجدول (١٥,٧): خصائص واسطة النقل وآثارها وتقويم بدائل المشروع.

الخاصة أو العامل أو التأثير	تقويم بدائل المشروع (من ضعيف إلى ممتاز على أساس ١ إلى ٥ أو أي ترقيم آخر)			
	البديل ١	البديل ٢	البديل ٣	البديل ٤
– تكلفة الطاقة المستخدمة				
إجمالي استعمال الطاقة				
العوامل التقنية – الاقتصادية				
– مقاومة الدفع				
– نسبة الحمولة للوزن الفارغ				
– القدرة الحصانية لكل طن أو راكب				
– مرونة الحركة :				
التجاوز والتلاقي والحركة في اتجاهين				
– التأقلم مع التضاريس				
– الإنتاجية لكل ساعة				
– السرعة				
إجمالي العوامل – التقنية – الاقتصادية				
عوامل التكلفة				
– تكلفة المشروع				
– فعالية التكلفة				
– معدل العائد				
– نسبة الفائدة للتكلفة				
– عامل التحميل عند نقطة تساوي الإيرادات مع التكاليف				
– نوع التكاليف: ثابتة أو متغيرة				
– الحاجة للإعانة الحكومية				
– طريقة التمويل ودرجة سهولتها				
– التأثيرات على اقتصاديات المجتمع				
إجمالي العوامل الاقتصادية				
المنفعة الإجمالية				

أسئلة للدراسة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - عدّد العوامل التي يجب أن يشتمل عليها أي نموذج نظري لنظام النقل، مع الإشارة إلى أهمية كل منها.

٢ - يمكن أن تصل إيرادات مسار معين (أ) إلى ٠,٠٥ دولار لكل طن صاف - ميل، ومصاريفه التشغيلية إلى ٠,٠٤ دولار لكل طن صاف - ميل، وتكاليفه الإنشائية إلى ١٥٠,٠٠٠ دولار لكل ميل، والحمولة الصافية السنوية المتوافرة إلى ١,٨٠٠,٠٠٠ طن. أما المسار البديل (ب) فيمكن أن تصل إيراداته إلى ٠,٠٥ دولار لكل طن صافي - ميل، ومصاريفه التشغيلية إلى ٠,٠٣٦ دولار لكل طن صاف - ميل، والحمولة الصافية السنوية المتوافرة إلى ٢,٤٠٠,٠٠٠ طن وتكاليفه الإنشائية إلى ١٦٠,٠٠٠ دولار لكل ميل. فإذا كان طول كل من المسارين ٥٠٠ ميل، ومعدل الفائدة الجذابة المحلية هو ٩٪، حدّد أي هذين المسارين هو المفضل، وذلك باستخدام طريقة معدل العائد على رأس المال المستثمر.

٣ - باستخدام معطيات السؤال الثاني، حدّد أي المسارين هو المفضل باستخدام طريقة التكلفة السنوية.

٤ - باستخدام معطيات السؤال الثاني، حدّد أي المسارين هو المفضل باستخدام طريقة نسبة الفائدة للتكلفة.

٥ - المعطيات: تكلفة حرم الطريق ٦٠٠٠ دولار لكل ميل، وتكلفة التسوية ١٥٠٠٠ دولار لكل ميل، وتكلفة الرصف ٤٥٠٠٠ دولار لكل ميل، وتكلفة المنشآت ٦٠٠٠٠ دولار لكل ميل، وتكلفة الصيانة ٣٠٠٠ دولار لكل ميل، ومعدل الفائدة ٩٪. والمطلوب تحديد متوسط تكلفة الاستثمار السنوية.

٦ - توجد أربعة بدائل لشبكات طرق الدراجات الهوائية خصائصها كالتالي:

البديل	التكلفة الرأسمالية (دولار)	زمن الانتقال: من طرف الشبكة إلى مركزها (دقيقة)	الحركة المرورية المقدرة في الاتجاهين (رحلة)
أ	٢٨٠,٠٠٠	٢٠	٩,٠٠٠
ب	٢٠٠,٠٠٠	٣٠	٧,٠٠٠
ج	١٨٠,٠٠٠	٤٥	٥,٥٠٠
د	١٠٠,٠٠٠	٤٩	٥,٠٠٠

بافتراض أن متوسط قيمة الوقت هو ٤ دولارات لكل ساعة (على أساس معدلات الأجور المحلية)، احسب وارسم فعالية التكلفة لكل بديل على ضوء البيانات المعطاة، واختر البديل الأفضل.

٧ - باستخدام بيانات المعايير المعطاة في الجدول (٦,١٥)، أوجد قيمة المنفعة الإجمالية لكل بديل من البدائل الثلاثة. (يمكن أن يُعدّ كل طالب في الفصل ترتيباً وسلماً خاصاً به، ويمكن جمع هذه لتعطي قيمة مركبة أو مشتركة للمنفعة لجميع الطلاب في الفصل كما افترض في القسم المتعلق بإعطاء أوزان حسب الأهمية).

٨ - باستعمال صيغة شبيهة بالصيغة المعطاة في الجدول (١٥-٧)، أعّد جداول تقويم لكل من: (أ) الأنواع الشائعة لنظم النقل بين المدن، و (ب) الأنواع الشائعة لنظم النقل الحضري.

٩ - أعد برنامجاً يتيح مشاركة المواطنين في عملية التخطيط عندما يكون المشروع الذي يُدْرَس هو:

(أ) نظام مقترح للنقل العام السريع بالقطارات لمدينة كبيرة يصل عدد سكانها إلى ٩٠٠,٠٠٠ نسمة.

(ب) استحداث نظام للنقل العام وتشغيله لمدينة يقطنها ٢٠٠٠٠٠ نسمة.

(جـ) استحداث مطار إقليمي يقع بالقرب من مدينة يصل عدد سكانها إلى ١٠٠,٠٠٠ نسمة.

قـــراءات مقـتـرحـــة
SUGGESTED READINGS

1. Edwin N. Thomas and Joseph L. Schofer. *Strategies for the Evaluation of Alternative Transportation Plans,* National Cooperative Highway Research Program Report 96, Transportation Research Board, National Research Council, 1970.
2. Marin L. Manheim et al. *Transportation Decision Making,* National Cooperative Highway Research program No. 156, Transportation Research Board, Washington, D. C., 1975.
3. *Citizen's Role in Transportation,* Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1975.
4. *Issues in Public Transportation,* Special Report No. 144, Transporation Research Board, National Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1974.
5. Wm. S. Pollard, Jr., *Operations Research Approach to the Regional Impact of Transportation and Land Use,* paper prepared for American Society of Civil Engineering Transportation Engineering Conference, Minneapolis, Minnesota, May 1965.
6. *High Speed Ground-Alternatives Study,* U.S. Department of Transportation, PB220079 National Technical Information. Washington, D. C., 1973.
7. *National Transportation Report (present Status-Future Alternatives),* Office of Assistant Secretary for Policy and International Affairs, U.S. Department of Trnsportation, Washington, D. C., 1972.
8. *1974 Trnaportation Report (Current Performance and Future Prospect),* Office of Assistant Secretary for Policy and International Affairs, U.S. Department of Trnsportation, Washington, D. C., 1974.
9. *Bus Use of Highways : Planning and Design Guidelines,* Wilbur Smith and Associates, National Cooperative Highway Research Program Report 155, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1975.
10. *Transit Planning,* Transportation Research Record 550, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1976.
11. *Financing Federal-Aid Highways,* Highway Planning Technology Report No. 34, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D. C., January 1974.
12. R. F. Kirby et al., *Para-Transit: Neglected Options in Urban Mobility,* Final Report Volume II, Para-Transit Design, The Urban Institute.

الفصل السادس عشر

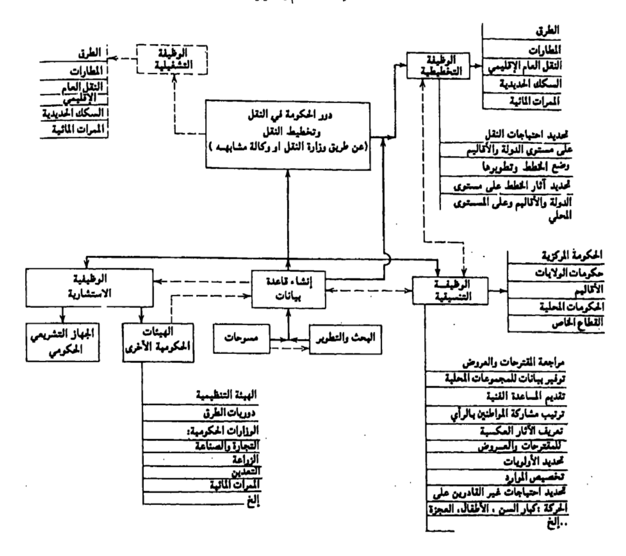
تخطيط النقل على مستوى الدولة والإقليم
STATE AND REGIONAL TRANSPORTATION PLANNING

تعاملنا في الفصول السابقة مع عملية التخطيط نفسها ومع طرق التخطيط وإجراءاته المتعلقة تعلقاً أساسياً بمشكلات النقل الحضري ومع تقويم البدائل التي طورتها تلك العمليات. ويركز هذا الفصل على التخطيط على مستوى الإقليم وعلى المستوى القومي، حيث سنشرح كيفية تعريف ممرات النقل وتحديدها وإختيار المواقع التفصيلية للمسارات داخل تلك الممرات.

التخطيط على مستوى الدولة والإقليم
STATE AND REGIONAL PLANNING

أدى تعدد المشكلات التي تبرز في النقل إلى إدراك الحاجة لتدخل الحكومة جزئيًا والتحكم والمشاركة في تطوير النقل وتخطيطه نظرًا لتأثير النقل على اقتصاديات الحكومة وعلى المجتمع، عموماً. وكانت نتيجة ذلك إنشاء وزارات للنقل في معظم البلدان والدول.

وقد كان موضوع ماهية صلاحيات وزارات النقل ومسؤولياتها مثارًا للجدل الساخن. وكما هو الحال في المناطق الحضرية، فهناك علاقات سببية بين نظم السكان واستخدامات الأراضي والنقل. وبالإضافة إلى ذلك، فإن توزيع الموارد الطبيعية وموارد الحكومة الأخرى وتأثيرات تلك على اقتصاديات الحكومة وعلى المجتمع والبيئة هي عوامل وثيقة الصلة. انظر الشكل (١٦,١).



الشكل (١٦,١). دور الحكومة في تخطيط النقل.

مسؤوليات وزارة النقل Ministry of Transportation Responsibility . تشمل المسؤوليات والأنشطة المتعارف عليها لوزارة النقل ما يلي :

١ - تعريف الغايات والسياسات العامة وتشكيلها لنظرة الحكومة للنقل المتعدد الوسائط في تخطيط النقل على مستوى الدولة .

٢ - اقتراح الحلول والخطط البديلة ووضع الأولويات .

٣ - التنسيق مع الهيئات التشريعية والتنظيمية حول السياسات العامة للنقل وتقدم سير مشاريع النقل والأمور الفنية .

٤ - وضع خطوط إرشادية للتخطيط على جميع المستويات ولجميع وسائط النقل، والتعاون مع الهيئات المحلية في التخطيط.
٥ - وضع خطوط إرشادية لتوزيع الموارد المختلفة (الأموال والأراضي والطاقة ونظم النقل).
٦ - تقديم المساعدة الفنية والبيانات لهيئات التخطيط المحلية.
٧ - المساعدة في نقل ملكية مرافق النقل من القطاع الخاص إلى القطاع العام وبالعكس.
٨ - توزيع خدمات النقل ومرافقه بين القطاعين الخاص والعام.
٩ - المساعدة في تكامل أنظمة النقل المملوكة للقطاع الخاص مع نظام النقل على مستوى الدولة.
١٠- الاهتمام بمشكلات نقل السلع ووسائطها المناسبة.
١١- الاهتمام بنقل الركاب ووسائط النقل التي تستخدم فيه.
١٢- تشجيع مشاركة المواطنين بالإدلاء بآرائهم وتقويمهم لمشكلات النقل ومقترحاته.
١٣- التنسيق مع الدول والبلدان المجاورة في برامج التخطيط.
١٤- مراقبة صرف الأموال الممنوحة من الحكومة لشركات النقل الخاص وللبلديات والأقاليم.

ويجب أن يكون في وزارة النقل وحدة خاصة بالتخطيط للقيام بهذه الوظائف. وقد تشمل المسؤوليات المحددة لوحدة التخطيط ما يلي:

(أ) تطوير قاعدة للبيانات لاستخداماتها الخاصة وتوفيرها لمجموعات التخطيط الأخرى في الهيئات الحكومية.
(ب) تقويم البدائل.
(جـ) تحديد تأثير البدائل على الحياة العامة للبلاد.
(د) إعداد دراسات لتأثير مشاريع النقل على البيئة ومراجعة الدراسات المشابهة التي يقوم بها الآخرون وتقويمها.
(هـ) مراقبة التغيرات في حجم الطلب على النقل وطبيعته وإعداد الخطط المناسبة لتلبية الطلب.
(و) المشاركة في الجهود القائمة للتخطيط والتطوير.
(ز) التخطيط للطرق وإنشائها.
(ح) التخطيط للسكك الحديدية اللازمة وتشغيلها سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة.

وقد تكون وحدة التخطيط مهيأة فنيًا من حيث الموظفين والتمويل لإجراء الدراسات التفصيلية للتخطيط والتصميم، أو قد تلجأ إلى الشركات الاستشارية وتعهد إليها القيام ببعض المهام المحددة. وقد اقترح إنشاء مجلس إرتباط يشمل ممثلين من شركات النقل الخاصة ومن مشغلي نظم النقل المحلية والإقليمية لتنسيق أنشطتهم مع أنشطة الحكومة في هذا المجال.

وهناك حاجة واضحة لمزيد من البحث والخبرة والطرق المطورة في مجال تخطيط النقل على مستوى الدولة.

إن النماذج الرياضية التي تعكس السياسات العامة، والتي تتعلق بتوزيع الموارد والحركة المرورية على وسائط النقل المختلفة، وبالإعانات المالية الحكومية والتسعير، هي نماذج مفيدة ولكنها أدوات لم يكتمل تطويرها تمامًا بعد. وبدأت أهمية دراسات التأثير على البيئة تزداد حيث تظهر فعاليتها وقوتها مع تطبيقها واستخدامها. لذا،

فلابد من وجود نماذج متطورة لتحديد الآثار البيئية . ويجب أن تكون هناك روابط أكثر فعالية بين أعمال التخطيط وبرمجة تنفيذ المشاريع وبين التخطيط الشامل على مستويات الدولة والإقليم والمدينة . فتخطيط استخدامات الأراضي الذي قد يعتمد عليه نجاح التخطيط على مستوى الدولة أحيانًا لايزال في مراحله المبكرة وينظر إليه كثير من المواطنين بريبة خصوصًا أولئك الذين يقطنون في المناطق النائية . ويناقش المرجع رقم (١٥) في قائمة القراءات المقترحة في نهاية هذا الفصل هذه الموضوعات وغيرها من جوانب تخطيط النقل على مستوى الدولة بشيء من التفصيل .

قاعدة البيانات Data Base. نظرًا لصعوبة الحصول على آراء المواطنين ومشاركاتهم في التخطيط على مستوى الدولة ، ولأن بعض المشكلات المحددة لا تؤثر تأثيراً مباشراً على الدولة ككل ، فإن التخطيط في بعض الحالات قد يتم على مستوى الإقليم الذي يشمل عددًا من المناطق أو المحافظات .

وتواجه أية دولة أو إقليم مشكلة التخطيط لاحتياجات النقل لسكانها واقتصادها . ويجب أن يكون التخطيط شاملاً لجميع وسائط النقل ولجميع المصالح ولجميع المنقولات (السلع والركاب) ولجميع العوامل (الاجتماعية والبيئية والاقتصادية) وتأثيرات تلك جميعها على الاقتصاد والمجتمع ومصادر الطاقة وعلى البيئة .

ويعد إيجاد قاعدة للبيانات إحدى الخطوات المهمة للقدرة على تغطية المدى الواسع لعملية التخطيط . ويمكن أن تقع مسؤولية إيجاد قاعدة البيانات على حكومة الدولة أو على وحدة التخطيط الإقليمية . ويجب أن تشمل قاعدة البيانات جميع الخطوات والعناصر التالية أومعظمها :

١ - **تقسيمات الأراضي Zonning** . تُقسّم الدولة أو الأقاليم إلى مناطق ربما عن طريق المحافظات أو مجموعات المحافظات . وهذا يتيح إمكانية التعرف على الأوضاع الحالية والتغيرات المستقبلية ويقسم منطقة الدراسة إلى أجزاء معقولة الحجم يسهُل التعامل معها وجمع بياناتها .

٢ - **السكان Population**. يُوزّع السكان من حيث مواقعهم الحالية وأعدادهم وكثافاتهم سواء الحضرية أو الريفية ، وذلك خلال وقت إجراء المسوحات . ويجب تصنيف السكان ، أيضًا ، إلى سكان مناطق حضرية وسكان مناطق ريفية ويقسم كل منهما إلى أصناف حسب نوع الوحدة السكنية والمهنة ومستوى الدخل والفئة العمرية والجنس ، وكذلك حصر سكان القرى والمدن كمّيًا .

٣ - **استخدامات الأراضي Land Use**. الاستخدامات الرئيسية للأراضي مقسمة حسب النوع والموقع والمساحة المخصصة لكل استخدام . ويمكن تصنيف استخدامات الأراضي كاستخدامات سكنية وصناعية وتجارية وترفيهية وتعدين وغيرها . وضمن كل استخدام عام ، توضع تقسيمات لفئات الاستخدام الرئيسية أو لنوع المنتج ، وكذلك إنتاجية الاستخدام المتحققة لكل نوع استخدام عام ولكل فئة من فئاته .

٤ – **المرافق القائمة Physical Facilities**. تُحصر المرافق القائمة في الدولة والمخصصة لأغراض النقل. وإذا كان التركيز على واسطة نقل معينة كالطرق، مثلاً، فيمكن قصر الحصر على تلك الواسطة، فقط. ولكن جميع احتياجات النقل للدولة متداخلة، لذا، لابد أن يكون الحصر شاملاً. وتشمل البيانات النموذجية والوثيقة الصلة بالموضوع على الآتي:

(أ) **الخطوط الجوية**. أعداد الطائرات المملوكة حسب أنواعها ومُلاكها، والخطوط الجوية التجارية، ومسارات الطيران، وبدايات الرحلات ونهاياتها، والتوقفات الوسطية لتلك الرحلات الجوية، ومسميات إدارة الطيران المدني لهذه المسارات، والمساعدات الملاحية المتوافرة فيها، والمطارات مصنفة حسب فئتها وموقعها وسعتها وملكيتها.

(ب) **الطــرق**. أطوال المسارات مصنفة إما حضرية وإما خلوية، وعدد حاراتها المرورية ودرجة التحكم في مداخلها ومخارجها وما إذا كانت مفصولة الحارات في الاتجاهين أو غير مفصولة، ونوع سطح الطريق، والحمولة المسموح بها، ومستوى الخدمة من حيث السرعة وزمن الانتقال والسعة؛ وجميع ذلك لأجزاء منفصلة من نظام الطرق. ويجب الحصول على عدد السيارات الخاصة والشاحنات المسجلة لدى إدارة المرور حسب المنطقة المرورية، ونوع المركبة (بالنسبة للشاحنات)، ومعدل ملكية المركبات لكل وحدة سكنية أو مزرعة أو أي نوع من استخدامات الأراضي المشغولة.

(جـ) **السكك الحديدية**. أطوال السكك الرئيسة حسب تصنيفاتها الوظيفية وتبعًا لمواقعها وملكيتها وحالتها الفنية وكثافة الحركة المرورية عليها، ونظام التشغيل والإشارات ومواقع المحطات وأنواعها، ومرافق التحويل والتبديل مع شركات السكك الحديدية الأخرى ومع وسائط النقل الأخرى، وملكية العربات والقاطرات حسب نوعها وسعتها.

٥ – **استخدام المرافق (التدفق المروري) Facility Use (Traffic Flow)**. تحديد الأنماط والتدفقات المرورية، أي تحديد درجة استخدام مرافق النقل. ويمكن تقدير حجم التدفق المروري (كما بحثنا في الفصل الرابع عشر)، ولكن يلزم القيام بتعداد فعلي لحركة المرور للتأكد من عمليات التقدير. وتشمل المصادر الأساسية للبيانات كلاً من الأحجام المرورية (حسب نوع السلعة المشحونة) ونقاط البداية والنهاية وسجلات الرحلات الجوية وجداولها الزمنية والجداول الزمنية للقطارات، وسجلات حركة القطارات والتجاوز عند تفريعات التجاوز وسجلات الأهوسة والموانئ.

ويمكن مراقبة الحركة بين الأقاليم أو الدول المختلفة عند نقاط الدخول والخروج عن طريق محطات الحصر الطوقي ومحطات وزن الشاحنات، وتصنف كالتالي:

رحلات خارجية – خارجية : وهي التي تبدأ أو تنتهي خارج الإقليم أو الدولة .
رحلات داخلية – خارجية : وهي التي تبدأ داخل الإقليم أو الدولة ولكنها تنتهي خارجه .
رحلات خارجية – داخلية : وهي التي تبدأ خارج الإقليم أو الدولة ولكنها تنتهي داخله .

وعادة ما يصعب الحصول على بيانات عن أنواع السلع المنقولة على مسارات محددة من شركات النقل الخاصة خصوصًا السكك الحديدية . إذ إن السياسات العامة للشركات الخاصة تمنع إعطاء مثل تلك البيانات، وتظهر تلك الشركات في سجلاتها الرسمية بيانات النقل الإجمالية على شبكتها وليس لكل مسار أو سلعة معينة .

عوامل الخدمة Service Factors . يجب في البداية إدراك وجود حاجة لنظام نقل جديد أو تحسين النظام القائم . وغالبًا ما تحدد تلك الحاجة نوع المسار أو الممر العام المطلوب مع تحديد نقاط بدايته ونهايته . فمثلاً، كان إنشاء الطريق السريع بين مكة المكرمة والمدينة المنورة في المملكة العربية السعودية نتيجة لتزايد الطلب على الانتقال بين هاتين المدينتين المقدستين مع ازدياد أعداد الحجاج الوافدين لتأدية الحج والزيارة، إذ إن الطريق القديم لم يعد قادرًا على استيعاب الآلاف المؤلفة من زوار الحرمين كل عام وعلى التبادل اليومي بين هاتين المدينتين المقدستين .

وفي الولايات المتحدة، استطاعت الدراسات التي أجرتها مصلحة الطرق العامة في عام ١٩٤٤م تمييز نمط عام لممرات الحركة المرورية على الطرق بين المدن الرئيسة (التي يزيد عدد سكانها على ٥٠,٠٠٠ نسمة) والتي تحمل الجزء الأكبر من حركة النقل على الطرق . وأدى ذلك إلى اقتراح شبكة مكونة من ٤٠,٠٠٠ ميل (٦٤٣٦٠ كم) من الطرق السريعة لتشكل نظام الطرق السريعة والدفاعية بين الولايات الأمريكية والتي بدأ تمويلها وأنشاؤها عام ١٩٥٦م . وحينذاك، ظهرت مشكلات تحديد المواقع التفصيلية للشبكة بحيث تخدم أكبر حجم من الطلب، وكذلك مطالبة أهل المدن التي استبعدت من مرور الطرق بجوارها بإنشاء وصلات وطرق فرعية تصلها بالشبكة الرئيسة .

تحديد الممرات Corridor Identification. يعرّف الممر تعريفاً أساسياً بنقطتي بدايته ونهايته . كما يمكن زيادة تعريفه بنقاط تحكم وسطية معينة مثل مدينة أو منطقة صناعية معينة يجب خدمتها، أو بحيرات أو سدود يجب تلافيها، أو المواقع المفضلة لعبور نهر معين أو المضائق الجبلية التي يجب سلوكها .

وقبل النظر في تحديد الممرات، تجزي معرفة مدى ملاءمة السكك الحديدية والطرق القائمة وغيرها من المسارات ووسائط النقل الأخرى، وذلك عن طريق إجراءات تعيين الرحلات المرورية على شبكة النقل وطرقها وبالتالي، تكون الحاجة لزيادة سعة نظام نقل قائم أو استحداث سعة جديدة قد حُدّدت . والمجال واسع لاختيار الموقع الدقيق لخط النقل داخل حدود الممر حتى في ظل وجود القيود الوسطية المذكورة أعلاه . وهناك عدة عوامل تؤثر على الموقع التفصيلي تشمل كلاً من تفاصيل التضاريس والمسافات والانحناءات والميول، والتي سنناقشها لاحقًا .

كما يجب، أيضًا، الأخذ بالاعتبار العوامل الاقتصادية والبيئية . وتُحدّد المواقع بطريقة توازن، نوعًا ما، بين توافر الحركة المباشرة والقرب من المراكز السكانية والمناطق الصناعية وغيرها من مولدات الرحلات الواقعة بين نقطتي بداية الممر ونهايته .

وعند الرغبة في خدمة مصدر حركة مرورية معين، يمكن تعديل محاذاة الممر ليمر عبر ذلك المصدر، ولكن ذلك يقابله تكلفة إضافية. وبديلاً لذلك، يمكن الإبقاء على محاذاة الممر في موقعه الأصلي ونقل الحركة المرورية من مصدر الحركة الذي يقع بعيدًا عن الممر وإليه بوساطة خدمة تغذية بإستخدام السكة الحديدية أو الشاحنات. ويخضع القرار بحرف الخط الرئيس أو تأمين خدمة تغذية للمفاضلة بين التكاليف الرأسمالية والتشغيلية لكل بديل. وتعد طريقة معدل العائد لتقويم التكلفة طريقة ملائمة لتقويم المدى الذي يمكن مد طول الخط إليه لجذب إيرادات إضافية. ويمكن أيضًا، استخدام طريقة نسبة الفائدة للتكلفة ولكنها ليست بدرجة الملاءمة نفسها. وهناك بديل ثالث يتمثل في إنشاء ممر ثان مواز للممر الأول. وفي هذه الحالة، فإن هناك مسافة عمودية معينة يكون عندها استخدام الممر الثاني أكثر اقتصاديّة من استخدام الممر الأول مما يجرنا إلى الحديث عن المسافة البينية للممرات. ومرة أخرى، إذا كان هناك واسطتا نقل، مثل سكة حديدية وطريق تخدمان الممر نفسه يبرز سؤال عن: ما المسافة الفاصلة بين الممرين الأكثر اقتصاداً من وجهة نظر الشاحن الذي يأخذ في الاعتبار التكلفة الإجمالية للنقل والشحن؟ وأيضًا، كم يجب أن تكون المسافة الفاصلة بين الخطين لكي يحقق حجم كاف من الحركة لكل منهما؟ [اقترحت مسافة تتراوح بين ٣٠٠ و ٢٦٠٠ قدم أو بين ٩٠ و ٧٩٠ متراً]. وليس من السهل الإجابة عن هذه الأسئلة وما يشابهها ولكنها وثيقة الصلة بالتأثير الإجمالي لكل بديل على اقتصاد الدولة أو الإقليم. وهكذا، نجد أن البدائل تبرز في مرحلة مبكرة من التخطيط، ويجب أن يخضع كل منها لطرق التقويم المتعددة.

طرق التقويم Evaluation Procedures. يمكن تقويم النظم البديلة العديدة التي تبرز من عملية التخطيط على مستوى الدولة والإقليم باستخدام الطرق التي شرحناها في الفصل الخامس عشر. وسنذكر أدناه بعض المعايير المستخدمة والأسئلة التي ينبغي طرحها. ويمكن زيادة تلك القائمة حسب الوضع المعين من حيث الغايات والأهداف ووسائط النقل والأقاليم ونوع المنقولات واستخدامات الأراضي المشمولة، وبوضع هذه في نموذج على شكل مصفوفة بحيث تسرد الأسئلة والمعايير على طول الصفحة والبدائل المختلفة بعرض الصفحة واتباع طريقة منظمة للتقويم مع إعطاء الفرصة للمرء أو للمجموعة التي تجري التقويم بإعطاء أوزان ورتب للعناصر غير الملموسة.

١ - العوامل الاقتصادية: التكاليف الرأسمالية والتكاليف التشغيلية ومعدلات العائد ونسب الفائدة للتكلفة.
٢ - فعالية التكلفة: يعبر عنها بمقاييس أعداد الرحلات المنتجة وأعداد الطن - صاف - ميل المنتجة وأعداد المدن والقرى المخدومة وأعداد الأميال (أو الكيلومترات) - مركبة التي تتم تغطيتها.
٣ - التكلفة على المستخدم: لكل ميل (أو كم) ولكل طن - ميل (أو كم) ولكل مركبة - ميل (أو كم).
٤ - الآثار الاقتصادية: على الصناعة والزراعة والتجارة والتعدين وشركات النقل الأخرى ونظمها.
٥ - التأثير على استخدامات الأراضي: هل ستعمل على زيادة الاستعمال أو خفضه أو تغييره؟ هل ستنشأ استخدامات غير مرغوب فيها للأراضي؟ هل سيحصل على استخدامات أفضل للأراضي؟
٦ - هل يتوافق البديل مع غايات الدولة والإقليم وأهدافهما؟
٧ - هل يتناسب البديل مع التخطيط الشامل للدولة أو للإقليم أو للبلدة التي يمر عبرها مسار النقل أو نظامه؟
٨ - هل يخدم البديل جميع استخدامات الأراضي المطلوبة؟

٩ - هل تقل الحاجة للنظام المقترح لو جرى تغيير أنواع استخدامات الاراضي؟
١٠- هل الخدمة الناتجة عن تحقيق البديل مناسبة للحاجة التي تخدمها؟
١١- هل البديل ممكن تحقيقه من النواحي السياسية؟
١٢- ما التأثيرات المتوقعة على البيئة؟
(أ) كمية التلوث للهواء والماء والضجيج والتلوث البصري والاهتزاز.
(ب) التأثير على إنتاجية الأراضي، هل تزيد أم تنقص؟
(جـ) التأثير على الحياة الفطرية.
(د) التأثير على المزروعات.
(هـ) هل سيعمل البديل على نشوء أي من الحالات التالية: فيضانات، انزلاقات أرضية، انخفاض مستوى المياه الجوفية وأخطار الحرائق؟
١٣- ما طلب البديل على الموارد الطبيعية من ماء وأراض وطاقة؟
١٤- هل سيزيد البديل من فرص العمل أم يقللها؟
١٥- كيف سيموّل المشروع من أموال الدولة؟ هل ستزيد الضرائب؟ ما مقدار الزيادة؟
وتهدف الأمثلة التالية للتخطيط على مستوى الدولة وعلى مستوى الإقليم لشرح العملية.

المثال الأول. يهتم التخطيط على مستوى الدولة بتقويم احتياجات البلاد كلها وربط الشبكات القائمة والمقترحة بالمتطلبات الحالية والمستقبلية للأنماط الصناعية والتجارية والسكانية والزراعية والاجتماعية المتغيرة. وعلى سبيل مثال نموذجي لهذا المستوى من التخطيط، نعرض تقريرا أعدّته شركة استشارية لولاية إلينوى الأمريكية بالتعاون مع مَصلحة التخطيط في وزارة النقل التابعة للولاية.

وقد كان الهدف من تلك الدراسات إجراء تقويم منطقي لتأثير التوسع الاقتصادي على متطلبات الطرق وعلى مصادر الإيرادات لأغراض تمويل الطرق. وكذلك لتوفير المعلومات والبيانات الهندسية اللازمة لتحديد نوع نظام الطرق اللازم وتكاليف برامج التحسينات المختلفة وأفضل الوسائل العادلة لتمويل الاحتياجات من الطرق بما في ذلك دراسات الاقتصاد وتصنيف الطرق والاحتياجات منها والمتطلبات المالية.[١]

وهذه الدراسة مبنية على أمر صادر من لجنة دراسة الطرق المنبثقة من المجلس التشريعي لولاية إلينوي (في عامي ١٩٦٣م و١٩٦٥م) بإجراء دراسة للطرق والشوارع العامة في ولاية إلينوي وتصنيفها والعمل على تكامل الطرق في نظام متكامل لخدمة احتياجات الولاية للنقل على الطرق، وإجراء دراسة متكاملة لاحتياجات أنظمة الطرق المتعددة حسب تصنيف اللجنة المذكورة مع الأخذ في الاعتبار الاحتياجات الحالية والمستقبلية لتحسين هذه الطرق وصيانتها وتشغيلها تبعًا لمستويات الخدمة المناسبة لها.[٢]

---

(١) Illinois Highway Needs and Fiscal Study : Final Report, Prepared by Wilbur Smith and Associates, New Haven, Connecticut, October 1967, P. I.

(٢) المرجع السابق نفسه.

وقد شمل نطاق عمل الدراسة ما يلي :

(أ) اقتصاديات النقل : تحديد اتجاهات النمو للقطاعات الصناعية الرئيسة والتحول في مواقع الأنشطة. وقد ميزت الدراسة ١٦ صناعة رئيسة بإنتاجياتها ومواقعها و ١١ مدينة كبرى وحجم إنتاجها الصناعي وعدد العاملين فيها وإنتاجها الزراعي (٩ منتجات) وإنتاجها التعديني (١٤ مجموعة) و٢٤ منطقة ترفيهية وعدد مرتاديها وتوزيع السكان الحضري والريفي والزيادة والانخفاض المتوقعين في أعداد سكان المناطق الحضرية والريفية حسب المحافظات المختلفة.

(ب) النمو السكاني والتغيرات في المناطق الحضرية والريفية وأسباب تلك التغيرات، وذلك لكل إقليم ومحافظة ومدينة. كما جرى تمييز السكان حسب الدخل وعدد الوحدات السكنية وعدد السيارات الخاصة وعدد المركبات التجارية. وقد جرى إيجاد عوامل ارتباط بين تسجيل السيارات الخاصة وعمر السائق وجنسه.

(جـ) تصنيف الطرق تبعًا لمواصفات تصميمية متمشية مع خواص الخدمة المتغيرة للنظام من حيث الاستعمال المتوقع والحجم المروري بعد ٢٠ عامًا من ذلك الوقت. وقد صنفت الطرق إلى طرق الولاية وطرق المحافظات وطرق المقاطعات وأخيرًا شوارع البلدية. وقد جرى حصر جميع الطرق المستخدمة للنقل لتحديد الأحوال السائدة والاحتياجات المستقبلية لإنشاء طرق جديدة وإعادة إنشاء بعض الطرق الحالية. وقد حددت تكاليف مثل تلك الإنشاءات على أساس برامج تستغرق ١٠ و١٥ و٢٠ سنة مستقبلية.

أما تصنيف الطرق على أساس مستوى الخدمة فقد عرّف الطرق بأنها طرق شريانية وطرق تجميعية وطرق محلية للوصول. واعتبرت الطرق الشريانية الخلوية بأنها التي تربط بين المدن التي يزيد عدد سكان كل منها على ٢٥٠٠٠ نسمة وتستخدمها رحلات طويلة نسبيًا وبسرعة سير تصل إلى ٧٠ ميلا/ ساعة (قبل إصدار القانون الاتحادي الأمريكي بتحديد السرعة القصوى بـ٥٥ ميلاً/ ساعة). وقد شملت الطرق الشريانية الطرق السريعة والطرق الرئيسة للحركة الإقليمية وعبر الولاية والتي يحتوي بعضها على تحكم جزئي في المداخل والمخارج و تخدم المدن التي يزيد عدد سكان كل منها على ٥٠٠٠ نسمة، كما شملت طرق الخدمة للمحافظات (بسرعة ٦٠ إلى ٧٠ ميلاً/ ساعة أو ٩٦ إلى ١١٢ كم/ ساعة) والتي تخدم جميع مدن المحافظات التي يزيد عدد سكان كل منها على ١٠٠٠ نسمة. وتخدم الطرق التجميعية المدن الأصغر (بسرعة ٥٠ إلى ٧٠ ميلاً/ ساعة أو ٨٠ إلى ١١٢ كم/ ساعة). أما الطرق المحلية فهي طرق الوصول للأراضي الزراعية والمناطق القليلة الكثافة السكانية. وقد جرى وضع تصنيف مشابه للطرق في المناطق الحضرية.

(د) تحليل المشكلات المالية المتعلقة بتوزيع التكلفة على المستخدمين ومصادر التمويل وإدارة تلك الأموال.

(هـ) وضع طرق وإجراءات لتحديد أنماط التنقل السائدة على أساس السكان وتسجيل المركبات والبيانات المتوافرة لبدايات الرحلات ونهاياتها. و جرى تحديد ما مجموعه ٢٥٦ منطقة تحليل مرورية وذلك بجمع القرى والمدن إلى نحو خمس مناطق لكل محافظة إضافة إلى سبع مناطق لمدينة شيكاغو. وجرى تعريف شبكة من الطرق الرئيسية لاستخدامها في أغراض تعيين الرحلات على الشبكة. واحتوت الشبكة على ١١٥٠٠ ميل (١٨٥٠٤ كم) من الطرق الشريانية و ٦٥٠٠ ميل (١٠٤٥٩ كم) من وصلات مراكز مناطق التحليل المرورية.

وجرى توصيف كل وصلة حسب زمن الانتقال عليها والسرعة والمسافة، كما حُدّد توزيع الرحلات أو تبادلها بين المناطق المرورية بالمعادلة:

$$T_{ij} = C \left(P_i \ P_j\right)^{1/2} e^{-KD}$$

حيث إن:

T_{ij} = عدد الرحلات المنطلقة من المنطقة المرورية i والمتجهة إلى المنطقة المرورية j.

C = معامل قيمته ٠٠٢٦, ٠ لرحلات العمل بالسيارة و ٠٠٣٢, ٠ للرحلات الأخرى بالسيارة و٠٠٢٣, ٠ لرحلات الشاحنات.

K = معامل له قيم تقابل قيم المعامل C وهي ٠٣٥, ٠ و٠٣٨, ٠ و ٠٣٥, ٠ على الترتيب.

D = مسافة الطريق من i إلى j بالميل.

P_i = عدد سكان المنطقة المرورية i.

P_j = عدد سكان المنطقة المرورية j.

وقد استخدمت ٤ خطوط تدقيق تمتد عبر الولاية للتأكد من أعداد الرحلات المتبادلة بين المناطق المرورية. واستخدمت مصفوفة للرحلات من منطقة لأخرى لتعيين الرحلات المرورية على الشبكة.

وقُدّرت الرحلات المستقبلية الداخلية باستخدام المعادلة أعلاه مع التقديرات المستقبلية لأعداد السكان في كل منطقة مرورية؛ كما استخدم عامل تعديل للأخذ في الاعتبار الزيادة في تسجيل المركبات وملكيتها. وقُدّرت الرحلات الخارجية لـ ٤٩ محطة خارجية باستخدام اتجاهات الزيادة أو النقص في الأحجام المرورية عند كل محطة والنمو السكاني المتوقع في الإقليم المعين من الولاية. وتم تعيين الرحلات المرورية على شبكة الطرق السريعة والرئيسية مع استخدام عامل تعديل تزيد قيمته عن الواحد ليعكس تأثير الطرق السريعة عبر الولاية التي جرى تحديدها داخل الممرات. كما أجْريت دراسات مشابهة لوسائط النقل الأخرى.

المثال الثاني. يشرح هذا المثال كيفية تحديد موقع جزء من مسار طريق سريع عبر عدد من الولايات الأمريكية. و بدأت الدراسة استجابة لطلب من عدة ولايات تشمل ولايات إلينوي وكنتاكي وميزوري وتينيسي لمد الطريق السريع رقم ٢٤ من مدينة ناشفيل إلى مدينة سانت لويس. و قامت شركة استشارية بالتعاون مع وزارات النقل في الولايات الأربع ومصلحة الطرق العامة الاتحادية بإجراء مسوحات وتقويم البدائل المختلفة كما هو مشروح باختصار فيما يلي. (٣)

لقد حُدّدت مدينتي ناشفيل وسانت لويس لتعريف الممر الأساسي الذي يجب أن يمر عبره المسار. وحُدّدت خمسة ممرات جزئية ضمن الممر العام حسب ما تسمح به تضاريس الأرض ولتفادي بحيرة كنتاكي وسد باركلي

(٣) Location and Economic Impact Investigation for Interstate Route 24, report submitted to the States of Illinois, Kentucty, Missouri, and Tennessee by Wilbur Smith and Associates, Columbia, South Carolina, 7 January 1963.

وللمرور عبر مواقع مفضلة لعبور الأنهار وللاتصال بالطرق السريعة المتجهة شمالاً جنوبًا. وحُدّد ٢١ مسارًا بديلاً ضمن الممر الرئيسي والممرات الجزئية وحلل كل منها (شكل ٢, ١٦). كما جرى تقسيم مناطق الدراسة إلى مناطق مرورية مكونة من مجموعة من المحافظات، وحُصل على بيانات السكان لمنطقة الدراسة والمناطق المرورية الخارجية، وذلك من السجلات الحكومية لعام ١٩٦٠م وتقديرات مستقبلية لعام ١٩٧٥م آنذاك. وجرى التعرف على تغيرات السكان الداخلية لكل محافظة ومدينة وتقسيم ذلك إلى عاملين في الزراعة أو عاملين في غير الزراعة. وقُدّر النمو المستقبلي على أساس كل من: (١) نمو طبيعي بدون الطريق المقترح و(٢) نمو متأثر بالطريق المقترح. وقد توقعت الدراسة حدوث نمو صناعي بسبب تحسن طرق الوصول وبالتالي، توسع أسواق العمالة.

كما جرى، أيضًا، تحليل حركة التنقل للأغراض الترفيهية وتقديرها من أجل السباحة وركوب الزوارق وصيد الأسماك... إلخ في متنزهات الولاية والمحمية القومية للحياة الفطرية والمناطق المحيطة بسدين موجودين في منطقة الدراسة، وتم ذلك على أساس النمو السكاني وتحسن طرق الوصول. وحُدّدت شبكة الطرق لعام ١٩٦٠م عبر الممر وجرى توصيفها بزمن الانتقال ومسافته على كل جزء منها. وشملت الشبكة المقدرة لعام ١٩٧٥م جميع التغيرات المتوقعة و، بشكل أساسي، إضافة الطريق السريع رقم ٢٤ بين الولايات.

ونظرًا لعدم توافر بيانات تولد الرحلات في المناطق الريفية للحداثة النسبية لهذا الموضوع، فقد كان من الضروري تطوير معادلات باستخدام تحليل الانحدار لكل من توليد الرحلات وتوزيعها في منطقة الدراسة. وقد جُمعت بيانات من ٢٨ مدينة يتراوح عدد السكان فيها بين ٤ ملايين نسمة كما هو في مدينة شيكاغو و ٩٠٠٠ نسمة كما في مدينة باريس في ولاية تينيسي. وتم تطوير ١٨ معادلة انحدار واختبارها باستخدام البيانات التي جُمعت. وتم توليد الحركة المرورية على شبكة الطرق لعام ١٩٦٠م باستخدام إحدى صيغ نموذج الجاذبية الذي يمثل إحدى المعادلات الـ ١٨ التي جرى تطويرها واختبارها. وأعطت تلك العلاقة قيمة لمعامل التحديد الإحصائي (مربع معامل الارتباط) قدرها ٠,٩٤١ لإنتاج الرحلات السكنية في المناطق المرورية المختلفة.

$$R_i = 1.03 \ P_i \ (P_i \ A_i \ / \ 1000)^{-0.247}$$

حيث إن:

R_i = مجموع رحلات السكان المتولدة في المنطقة المرورية i

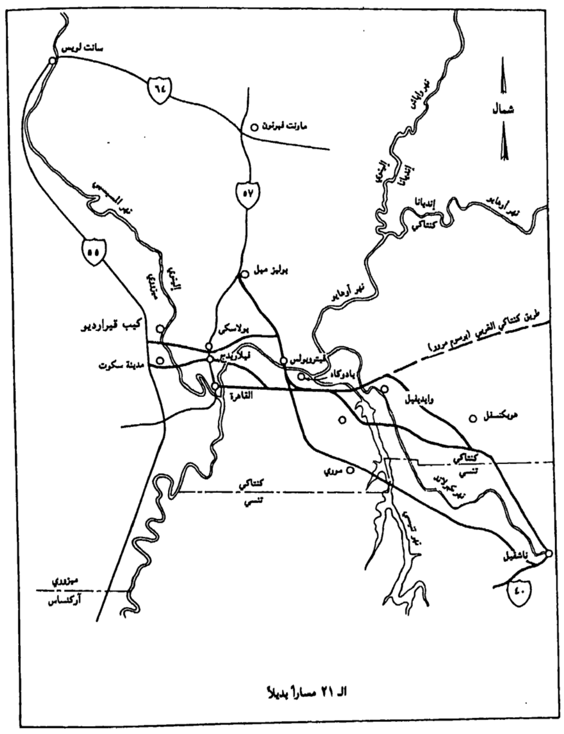
P_i = عدد سكان المنطقة المرورية i

A_i = مساحة المنطقة المرورية i

والقيمتان (1.03) و(0.247 -) هما لمعامل منطقة الدراسة وأسّها.

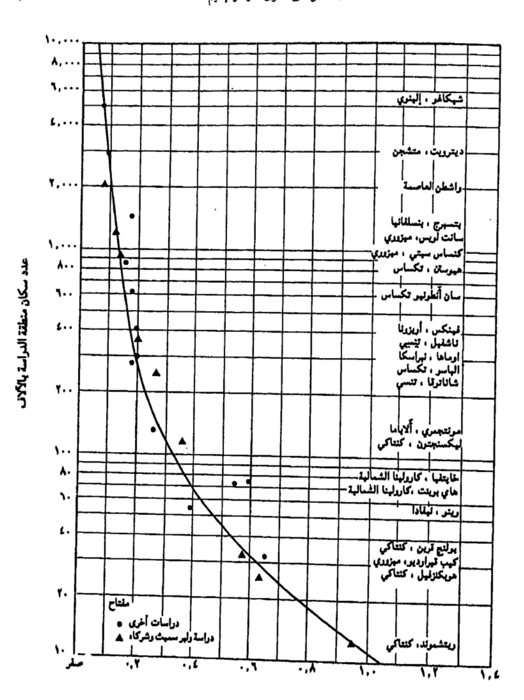
وعن طريق الجمع بين نموذج الجاذبية هذا مع منحنى التوزيع الموضح بالشكل (١٦,٣)، حصل على توزيع لجميع الرحلات المنزلية والرحلات غير المنزلية لأغراض العمل أو الترفيه أو غيرها، وذلك باستخدام الحاسوب. حيث اتبعت عملية حل بالتكرار للحصول على توافق بين أعداد نهايات الرحلات المنزلية وغير المنزلية.

أما تعيين الرحلات المرورية وتوقيعها على الشبكة فقد تم باستخدام المسار الأقصر لزمن الانتقال، حيث أعدّت شبكة الطرق لعام ١٩٦٠م وحُدّدت المناطق المرورية ومراكزها على الشبكة ثم رقمت العُقد. وجرى توصيف



الشكل (٢,١٦). المواقع البديلة لمسار الطريق.

(*Location and Economic Impact: Interstate Route 24 by Wilbur Smith and Associates*, Columbia, South Carolina, 1963, p. 15.)



الشكل (١٦,٣). توليد رحلات المركبات الآلية الخارجية اليومية بوساطة السكان.

(*Location and Economic Impact: Interstate Route 24 by Wilbur Smith and Associates*, Columbia, South Carolina, 1963, Figure B-2, p. 175.)

أجزاء المسار أوالوصلات بزمن الانتقال وطول الوصلة (وقد جرى تحويلها إلى سرعة) وكذلك حسب اتجاه حركة المرور (اتجاه واحد أو اتجاهان). ثم تم بناء «أشجار» تعيين الرحلات حيث اختار الحاسوب المسار الذي يعطي أقل زمن انتقال من كل منطقة مرورية لأخرى ثم جُمّعت الأحجام المرورية والتراكمية التي تسير على كل وصلة.

وبعد ذلك، تم تحديث شبكة الطرق لتعكس الوضع المستقبلي لعام ١٩٧٠م باستخدام بيانات التخطيط المستقبلية بما في ذلك المسار الجديد للطريق السريع المقترح رقم ٢٤. ونظرًا لوجود ٢١ مسارًا بديلاً لكل منها قيم مستقلة لنهايات الرحلات، كان لابد من تطبيق النموذج ٢١ مرة مع استخدام نموذج إضافي أساساً ثم تقدير توزيع الرحلات. و شملت المعايير المستخدمة لمقارنة البدائل الـ ٢١ ما يلي:

(أ) مسافة الانتقال بين مدينتي سانت لويس وناشفيل.

(ب) طول الطريق المقترح رقم ٢٤.

(جـ) تكلفة إنشاء الطريق المقترح رقم ٢٤.

(د) تكلفة إنشاء الميل الواحد من الطريق رقم ٢٤.

(هـ) أعداد المركبة – ميل من الحركة المرورية على الطريق السريع رقم ٢٤.

(و) أعداد المركبة – ميل لكل ميل من الطريق رقم ٢٤.

(ز) المعدل اليومي للحركة المرورية على الطريق رقم ٢٤.

(ح) تكاليف الإنشاء مقسومة على أعداد المركبة – ميل السنوية.

ويجب ملاحظة أن المعيار الأخير هو أحد معايير فعالية التكلفة.

وعند حساب نسبة المنفعة للتكلفة، قُسّمت التكاليف الرأسمالية لمختلف العناصر إلى أربع مجموعات عمرية (واستخدمت، أيضًا، بمثابة فترات لإهلاك الدين): عناصر بأعمار قدرها ٢٠ سنة و٤٠ سنة و٦٠ سنة و١٠٠ سنة. وبالجمع بين تكاليف الصيانة السنوية والتكاليف الرأسمالية السنوية، أمكن حساب التكاليف السنوية للطريق لكل مسار.

وحُسبت التكاليف السنوية لمستخدمي الطريق حسب القطاعات والمسارات باستخدام بيانات آشتو (AASHTO)؛ وهذه تشمل بيانات عن الوقود والزيوت والإطارات وصيانة السيارة والإهلاك وتأثيرات الميول والسرعات (٤٠ و٥٢ ميل/ ساعة) وعما إذا كانت المسارات ذات حركة حرة أو مقيدة أو طرقًا عادية. وحُسبت تكاليف الحوادث المرورية كـ ٠,٠٠٢٤ دولار لكل مركبة – ميل.

كما تم، أيضًا، تقويم المسارات الـ ٢١ بطريقة معدل العائد، واختير المسار الذي حقق أقصى نسبة منفعة للتكلفة (قدرها ٣,٢٤) وأقصى معدل عائد (قدره ١٧,٤٪). كما أعطى هذا المسار خدمة طرق سريعة بمقدار ٢,٧ ضعف المسار الذي يعطي أقل مقدار محققًا بذلك أقصى عدد من المركبة – ميل. أما تكاليف إنشائه فقد كانت في المدى المتوسط، وكان الثاني من حيث طول المسار.

وشملت الفوائد غير المباشرة للمسار الأفضل ملاحظات وصفية عن ارتفاع قيم الأراضي المجاورة وزيادة إمكانية اختيارها مواقع للصناعة. وتم تقويم السياحة والترفيه على أساس مصاريف السياح بالدولار لكل ١٠٠٠٠

مركبة متوقعة يوميًا. أما الفوائد الاجتماعية فقد ذكر أنها شملت زيادة القدرة على الحركة وسهولة الوصول إلى مكان العمل وإلى مواقع الأنشطة الترفيهية وتحسين العلاقات مع رجال الأعمال والهيئات الحكومية. وقد حُدّد عدد القرى المخدومة التي يزيد عدد سكانها على ٢٥٠٠ نسمة، والعدد الكلي للسكان المخدومين، و رتبت البدائل حسب العدد الكلي للسكان المخدومين. وأيضًا، تم إعتبار آثار البديل على نمو السكان والمبيعات التجارية لهم.

وبني الاختيار النهائي على أساس الرتب الأولى والثانية والثالثة والرابعة لكل من العوامل الاثني عشر التي طُبِّقت على البدائل الثمانية الأكثر جاذبية من الـ ٢١ مسارًا بديلاً. وهذه العوامل هي: نسبة المنفعة للتكلفة، تكلفة الإنشاء لكل مركبة – ميل، معدل الحجم المروري، عدد السكان المخدومين، تكلفة الإنشاء، طريقة بديلة لنسبة المنفعة للتكلفة، مسافة السفر من سانت لويس إلى ناشفيل، طول الطرق الجديدة اللازم إنشاؤها، مجموع الانتقال على المسار الجديد، مصاريف السيّاح. وكان ترتيب البديل المختار الأول في خمسة من العوامل السابقة والثاني في اثنين منها والثالث في اثنين منها والرابع في واحد منها. أما البدائل الأخرى فقد كانت أقل جاذبية.

ويلاحظ أنه لم يُركزّ على الآثار البيئية والاجتماعية في هذه الدراسة إذ لم يكن لهذه العوامل آنذاك الاهتمام الذي تلقاه اليوم. وبالتالي، لم يُجْرَ أي تقويم للطلب النسبي على الأراضي بين البدائل المختلفة أو لمقدار التلوث أو للتعدي على المتنزهات والمناطق البرية أو للفاقد من الأراضي الزراعية أو المساكن أو مواقع العمل أو المباني الأثرية أو المعالم المهمة والتي قد تكون من أهم خصائص الدراسات القائمة اليوم. كما لم يشر إلى مدى مشاركة المواطنين في عملية التخطيط والتي قد تنبثق من خلال الاجتماعات العامة في المدن الواقعة في مواقع ملائمة ضمن حدود الممر الخاضع للدراسة، والطلب من المسؤولين عن التخطيط في تلك القرى والمدن إبداء آرائهم حول الغايات والأهداف والخطط المقترحة.

وسنعطي في الملحق الثاني للكتاب مثالاً عن كيفية تحديد موقع سكة حديدية.

شبكات السكك الحديدية Rail Networks. تم في الولايات المتحدة الأمريكية تحديد نظام قومي للطرق السريعة ونظام قومي للمطارات والممرات المائية. وتعد خطوط شركة نقل الركاب بالسكك الحديدية المعروفة باسم «آمتراك» (Amtrack) الشبكة القومية لخدمة نقل الركاب بالسكك الحديدية. كما يجري حاليًا تحديد شبكة قومية للشحن بالسكك الحديدية.

وتصنف خطوط الشحن الحديدية إلى عدة أصناف بناء على كل من: (١) كثافة الحركة المرورية للشحن مقدرة بالأطنان الإجمالية، (٢) خدمة الأسواق الرئيسية، ، (٣) مستويات السعة، (٤) الدفاع القومي. وتلقى الخطوط المصنفة تبعًا لذلك أولوية في تخصيص الأموال من الحكومة الاتحادية وربما أيضًا من استثمارات القطاع الخاص. وعلى العموم يعتبر أن هناك سعة فائضة في أي ممر يوجد فيه خطان متنافسان أو أكثر؛ ويطلق لفظ «فائض» على واحد أو أكثر من الخطوط و ويخفض مستواها أو يلغى. في حين يرفع مستوى الخطوط ذات التصنيف العالي أو تبقى عند مواصفاتها العالية نفسها من حيث الصيانة والكفاءة. وبالتالي سيزال عدد من الخطوط ذات الكثافة المنخفضة للحركة من الشبكة القومية.

وقد تواجه بعض الولايات مشكلة عندما تكون بحاجة لعدد من الخطوط «الفائضة» حسب معايير الحكومة الاتحادية، وذلك لأغراض خاصة بالولاية. وعندئذ، ربما تحدد وزارة النقل في الولاية أياً من هذه الخطوط يجب إبقاؤه حسب اقتصادياتها، وتخطط لإبقائها وتمويلها وإدارتها. وتقوم الولايات المختلفة حاليًا بتمويل جزء من تكاليف إبقاء بعض المسارات المعينة لخطوط «آمتراك» وقطاراتها التي ترى أنها ضرورية للخدمة المحلية داخل الولاية.

ويمكن أن يؤدي إلغاء خطوط التفريعات إلى فقد المزارعين المستفيدين منها وغيرهم لدخلهم، وقد تجبر بعضهم على الإفلاس وفقد أعمالهم وفرصهم الوظيفية. وسيعمل نقل الحبوب من المزارع إلى الصوامع المركزية (أو نقل السلع من المصانع إلى الأسواق) بالشاحنات التي تسير على الطرق على زيادة تكاليف تلك المنتجات وزيادة تكاليف الطرق. وهذا الوضع يتطلب اختبار كل حالة ودراستها على حدة.

العوامل الهندسية في اختيار الموقع
ENGINEERING FACTORS IN LOCATION

لقد بين المثال السابق بمساراته الـ ٢١ البديلة أن هناك عدداً كبيراً من المسارات والمواقع البديلة الممكنة حتى ضمن الحدود المقيدة نسبيًا للممر المحدد مسبقًا. ولقد رأينا أن لعوامل الخدمة تأثيرًا مباشرًا على الموقع، إلا أن العوامل الهندسية المتمثلة في المسافة ودرجة الميل والانحناء والتضاريس يمكن أن تؤثر تاثيراً كبيراً على تكاليف الإنشاء والتشغيل وبالتالي، على الموقع المحدد للخط وحتى على تعريف الممر. ويمكن، أيضًا، تقويم هذه الآثار باستخدام معدل العائد ونسبة المنفعة للكلفة وغيرها من المعايير.

عناصر المسار Route Elements. إن الموقع المثالي من وجهة النظر التشغيلية هو الموقع الذي يعطي أقل قدر من زمن الانتقال وتكاليف التشغيل والذي يكون خطًا مستقيمًا (مماسًا) بين نقطتي البداية والنهاية ومنبسطًا تمامًا بكامل طوله. وموقع كهذا سيكون باهظ التكاليف بشكل ضخم من أجل إنشائه (وقد يغفل بعض النقاط المرورية الوسطية المهمة)، إلا أن أي اختلاف عن هذا الموقع المثالي سيعمل على زيادة تكاليف التشغيل. ويجب على مهندس اختيار موقع المسار أن يختار المزيج الأفضل من المسافة والانحناء والميول ضمن إطار الخدمة المطلوبة، والذي يحقق توازنًا اقتصاديًا بين الإيرادات وتكاليف التشغيل وتكاليف الإنشاء. ويجب أن يتنبه المهندس إلى أنه يجب أن لا تؤدي جهوده لتقليل تكاليف الإنشاء إلى تحميل المسار بتكاليف تشغيلية كبيرة خلال عمره التشغيلي. كما يجب عليه، أيضًا، تجنب التطرف في الجانب الآخر بتصميم مسار بدرجة عالية من الكمال والجودة والتي تتطلب تكاليف إنشائية عالية جدًا لا تتناسب مع فوائد الخدمة التي سيوفرها المسار.

المسافة. باعتبار العناصر الأخرى متساوية، يجب أن يكون المسار أقصر ما يمكن. وعلى العموم، فإن التكاليف الثابتة لا تتأثر بالتغيرات الطفيفة في المسافة، إلا أن التكاليف المباشرة للإنشاء ستتغير، عادة، مع

المسافة . ولذا، يجب أن تبنى اعتبارات التكلفة المرتبطة بالمسافة ارتباطاً أساسياً على التكاليف المتغيرة أو المباشرة للإنشاء والتشغيل . وبالنسبة لتكاليف التشغيل فإن الوقود والصيانة المباشرة وأحيانًا الأجور تشكل العوامل الأساسية . ولا يترتب على الزيادة القليلة أو المتوسطة في المسافة سوى آثار طفيفة عندما يلجأ إليها لتحسين ميل شديد أو منحنى حاد أو تلافيهما في المسار أو لاكتساب مصدر إضافي للحركة المرورية . وفي عمليات السكك الحديدية، لا تتغير تكلفة التشغيل الكلية مع المسافة بالنسبة نفسها ولكنها تتغير جزئيًا مع تغير المسافة . وبذلك، فإن التكاليف الإضافية لا تشكل سوى ٣٠٪ تقريبًا من متوسط التكاليف لكل ١٠٠٠ طن إجمالي – ميل للتغيرات في المسافة التي تقل عن ميل واحد، و٣٥٪ للتغيرات من ١ إلى ١٠ أميال، و٤٨٪ للتغيرات التي تزيد على ١٠ أميال .[٤]

أما التغيرات القليلة في المسافة على الطرق فيمكن أن تؤثر تأثيراً كبيراً، خصوصًا عندما يكون حجم التدفق المروري المتوقع أو الفعلي كثيفًا، ويعود ذلك إلى أن مركبات الطرق هي ناقلات ذوات تكاليف متغيرة . فتخفيض المسافة بمقدار ثلاثة أميال لطريق يسير عليه ٢٦٠٠ مركبة في اليوم بمعدل تكلفة مباشرة قدرها ٠,٠٨ دولار لكل مركبة – ميل سيؤدي إلى توفير فعلي قدره :

٣ × ٠,٠٨ دولار × ٢٦٠٠ × ٣٦٥ = ٢٢٧٧٦٠ دولاراً سنويًا

وفي الواقع، فإن عامل المسافة يؤدي دورًا ثانويًا في اختيار موقع الطريق إذا ما قورن بالعوامل الأخرى العديدة . وبالرغم من ذلك، فإن قصر مسافة المسار وكونه مباشرًا يعد إحدى الخصائص التي ساعدت على تقبل العامة من مستخدمي المركبات للطرق السريعة، وذلك من وجهة توفير الوقت وليس على أساس الاقتصاد في التشغيل .

والمسافة مهمة، أيضًا، لخطوط الأنابيب، وتمثل مقاومة السريان لكل ميل جزءًا رئيسيًا من ضغط الضخ اللازم إلا في حالة وجود فرق كبير في الارتفاع بين أي محطتي ضخ أو أكثر . ونظرًا لعدم وجود قيود تذكر بسبب التضاريس على موقع خط الأنابيب، فإنه عادة ما يكون المسار الأقصر هو الأرخص . ونسبيًا، فإن تكلفة محطات الضخ بالضغط المنخفض ليست مرتفعة إلا أنه يجب تقليل المسافة بين تلك المحطات . أما المحطات ذات ضغط الضخ المرتفع فهي أكثر تكلفة إلا أنه يمكن وضعها على مسافات متباعدة بحيث يتحقق نوع من الاقتصاد . ويجب تحديد التوازن الاقتصادي بين ضغوط الضخ وعدد المحطات .

وتنقسم تكاليف القنوات المائية إلى تكاليف المسار وتكاليف الأهوسة . وتعتمد تكاليف الأهوسة على الفروق بين الارتفاعات وليس على ميول المسار (الذي يجب أن يكون منبسطًا ولو بشكل تقريبي) مما يجعل من المسافة عاملاً حيويًا لتكلفة المسار . وعندما يمكن الحصول على فرق أقل في الارتفاع عن طريق زيادة المسافة مما يؤدي إلى تقليل عدد الأهوسة اللازمة، يجب مقارنة تكاليف البديلين لتحديد البديل الذي يعطي أفضل اقتصاد إجمالي للإنشاء والتشغيل .

---

(٤) Proceedings of the A.R.E.A., Vol. 39, pp. 518-531, American RailwayEngineering Association, Chicago 5, Illinois.

الانحناء. من النادر أن تسمح تضاريس الأرض بمد طريق مثالي بين نقطتين على شكل خط مستقيم. ولا يعمل الانحناء في الطريق على زيادة ملموسة في أي من تكاليف إنشاء الطريق أو التكاليف التشغيلية للمركبات التي تسير عليه. وقد تصرف مبالغ إضافية للعمال والمواد لزيادة عرض الطريق عند المنحنيات وتنفيذ التعلية الجانبية فيها، وأيضًا، لوضع خطوط دهان وسطية في الطريق لأغراض السلامة. ويحدث اهتراء إضافي للإطارات والرصف عند المنحنيات بسبب القوى المماسة والدفع الجانبي إلا أن تأثيرها يكون محدودًا جدًا لدرجة إغفالها إذا كان التصميم مبنياً على المتطلبات الحديثة للسلامة. فالعادة المتبعة اليوم في التصميم هي جعل المنحنيات منبسطة لدرجة يكون تأثير الانحناء فيها قليلاً جدًا (أو اسميًا). والتخطيط النظري للمنحنيات هو مسألة من مسائل التصميم الهندسي للطرق.

أما الآثار السلبية للانحناء على التكاليف التشغيلية للسكك الحديدية (والتكاليف الإنشائية بدرجة أقل)، فهي أكثر وضوحًا بسبب اهتراء الشفة في القضبان والعجلات، وبسبب الدفع الجانبي على هيكل السكة، وبسبب الزيادة المترتبة على ذلك في العمالة والمواد اللازمة للمحافظة على اتساع السكة وصيانة الخط وسطح السكة. ويعد مقدار الانحناء الكلي للخط، وهو مجموع الزوايا المركزية لجميع المنحنيات في المسار، أكثر أهمية من عدد المنحنيات أو درجات المنحنيات. والمقاومة التي يتعرض لها قطار يسير على خط منحن بدرجة انحناء قدرها ٥٢٨ درجة للزاوية المركزية تساوي المقاومة نفسها التي يتعرض لها قطار يسير على سّكة مستقيمة طولها ميل واحد (بافتراض قيمة متوسطة للمقاومة قدرها ٨ أرطال لكل طن لقطار يسير على سكة مستقيمة ومستوية في هواء ساكن، وذلك للسرعات العالية للقطارات الحديثة). وعلى ذلك، يمكن حساب تكاليف الانحناء لأنه سبق تحديد أن الميل الواحد المكافيء لمنحنى بدرجة انحناء ٥٢٨ درجة سيتسبب بزيادة المصاريف التشغيلية بنسبة ٣٠٪ من متوسط التكلفة لكل ١٠٠٠ طن إجمالي – ميل مكافيء.

وللمنحنيات آثار مقيدة على السرعة لكل من الطرق والسكك الحديدية. وهذا أيضًا، أحد جوانب التصميم الهندسي. وعلى العموم، فإن منحنيات السكك الحديدية للحركة المرورية العالية السرعة ٧٠ إلى ١٠٠ ميل–ساعة (١١٣ إلى ١٦١ كم–ساعة) يجب حصرها بحدود ١ إلى ٢ درجة، وفي حدود ٢ إلى ٣ درجات للسرعات المتوسطة التي تتراوح بين ٤٥ و ٦٩ ميلاً ـ ساعة (٧٢,٤ إلى ١١١,٠ كم–ساعة). وإذا لزم وجود منحنيات أكثر حدة من ذلك بسبب التضاريس أو التكاليف الإنشائية يجب تخفيض السرعة تبعًا لذلك. أما تفريعات السكك الثانوية والخطوط المنخفضة السرعة فإن منحنياتها لا تزيد، عادة، على ٨ إلى ١٢ درجة. وقد ترتفع درجة الانحناء في سكك المفاتيح الصناعية حتى ٣٠ إلى ٤٠ درجة (ولكن لا يوصى باستخدام انحناءات تزيد على ٢٠ درجة). وعادة، لا يسمح للقاطرات الديزل – كهربائية التي تسير على الخطوط أو التي تستعمل للأغراض العامة بأن تسير على منحنيات تتجاوز درجة انحنائها ٢٠ إلى ٢٢ درجة.

أما درجة الانحناء في منحنيات الطرق الرئيسة فيجب أن لا تتجاوز ٣ درجات، في حين يجب الالتزام بمواصفات السكك الحديدية العالية السرعة نفسها في الطرق السريعة. ويمكن زيادة درجة الانحناء في الطرق الثانوية بأمان حتى ١٠ درجات. أما المنحنيات الأكثر حدة من ذلك فيقتصر استخدامها على الطرق المؤقتة أو المحلية وعلى شوارع المدن.

ويجب تجنب الانحناء في خطوط الأنابيب بالرغم من أنه لا يشكل أية مشكلة خاصة عند وجوده. ومن المقبول انحناء الأنابيب بدرجة انحناء تتراوح بين ٢٠ و٣٠ درجة من الخط المماس، إلا أنه يفضل القيام بتغيير الاتجاه تغييراً كاملا. ولاداعي لاعتبار مقاومة السريان الإضافية عند مثل تلك المنحنيات إلا عند الحاجة لحسابات دقيقة.

وتحد المنحنيات في القنوات المائية والأنهار الممهدة من أحجام المراكب التي تمر حول المنعطف وتُوجَد مشكلات في المناورة. ويمكن تحديد أقصى حد لأطوال المراكب التي يمكن أن تمر حول المنعطف المائي برسم المنحنيات والمراكب بمقياس رسم معين على الورق. ويجب توفير الفرصة للتجاوز لسفينتين ضخمتين أو للصنادل أو للمقطورات مع إضافة عامل أمان ومسافة إضافية للأخذ بالاعتبار الزيادات في أحجام المراكب والمعدات المستقبلية. ويلزم تجنب المنحنيات الحادة قدر الإمكان. ومن المعروف أن إرشاد مقطورة مائية طويلة حول منعطف حاد دائمًا يكون صعبًا، وفي بعض الأحيان، يكون خطرًا ومنذرًا بحدوث كارثة عندما يكون هناك تيار مائي قوي.

وعادة، لا توجد انحناءات في السيور المتحركة. ويغيّر الإتجاه في نهاية كل مرحلة من مراحل السير المتحرك. أما في العربات الهوائية المعلقة فإما أن يُغيّر الاتجاه فجأة تغييراً كاملاً عند محطة زاوية مجهزة بالأبراج وقضبان الإرشاد المناسبة والتي تعمل على نقل العربات المعلقة من سلك سميك لآخر، أو يُغيّر الاتجاه بوساطة منحنيات طويلة وقليلة الانحناء جدًا لدرجة أنه قد لا يمكن ملاحظتها.

الميول والارتفاع. لقد سبق أن استعرضنا في الفصل الخامس الأسس التي تحكم مقاومة الدفع بسبب الميول والفروق في الارتفاعات. ويجب مراجعة ذلك الفصل عند دراسة هذه الجوانب الاقتصادية لموقع المسار. وقد رأينا في الفصل الخامس أنه يجب على جميع المركبات البرية - معدات السكك الحديدية والطرق والقطارات الأحادية القضيب والعربات الهوائية المعلقة والطرق الجوية (خلال عمليات الإقلاع) ومعدات السيور المتحركة - التغلب على مقاومة قدرها حوالي ٢٠ رطلاً لكل طن من وزن المركبة والحمولة لكل ١٪ من الميل.

أما عمليات السكك الحديدية والطرق، فإن الميول تؤثر على تكاليفها من ناحيتين هما : (أ) الزيادة في تكاليف تشغيل أي قطار أو مركبة آلية (من حيث الوقود والصيانة وأجور العمال. . . إلخ)، وكذلك زيادة زمن المسير، و(ب) الحد من حجم حمولة القطار أو المركبة الآلية وبالتالي، تحديد عدد القطارات أو المركبات الآلية اللازمة بجميع التكاليف المترتبة على ذلك.

والتأثير الأخير هو الأكثر أهمية مطلقاً، فعلى سبيل المثال، يجب على مهندس تحديد موقع المسار اختيار الميل الحاكم للسكك الحديدية الذي يتيح أقصى حمولة لكل قطار (لنوع القاطرة المستخدمة) وبالتالي، الحصول على أقل عدد ممكن من القطارات وأقل قدر من المصاريف. وعلى الأرجح، فإن المهندس سيبني اختياره على نتائج دراسة مقارنة لعديد من المسارات والميول البديلة. وعلى العموم فكلما زادت الأموال المستثمرة في التكاليف الإنشائية كان الميل الحاكم الذي يمكن الحصول عليه أكثر انبساطًا و قلت التكاليف التشغيلية. ويجب

على المهندس أن يقرر كم عليه أن ينفق من الأموال وما هو المسار والميل الأكثر اقتصاداً الذي يجب إنشاؤه وتشغيله . ويجب عليه أن يطبق واحدة أو أكثر من طرق دراسة التكلفة التي سبق إعطاؤها في فصول سابقة ، إلا أنه يفضل استخدام طريقة معدل العائد . وبالإضافة لإختيار الميل الحاكم الاقتصادي، يجب على المهندس ، أيضاً ، إبقاء الميول الثانوية التي تقل عن الميل الحاكم ضمن الحدود الاقتصادية . ولأن موقع المسار على أساس الميل الحاكم قد يجتمع مع سلسلة من الميول الثانوية ، فإن جوانب الارتفاع هذه تشكل عنصرين متميزين عند اعتبار التكاليف الرأسمالية أو السنوية الإجمالية أو معدل العائد لمسار من المسارات البديلة .

ويجب أن لا تزيد الميول القصوى في السكك الحديدية على ٢٪ كحد أقصى ، ويفضل أن لا تزيد على ١٪ ، إلا أنه ، من أجل توفير مجال للسرعة وزيادة سعة الحمولة ، يجب أن لا يسمح بتجاوز ميل ٥٠ , ٠ بالمائة سوى للقليل من الميول . أما ميول الطرق فهي لا تزيد عادة على ٣٪ للطرق السريعة ذات المواصفات التنفيذية العالية ، إلا أنها قد ترتفع حتى ٧ أو ٨ ٪ للطرق الثانوية المنخفضة السرعة . وقد تصل الميول حتى ١٢ ٪ في الشوارع داخل المدن إذا دعت الحاجة لذلك . ويجب إعطاء تأثيرات الميول الحاكمة والثانوية اعتباراً أكثر مما تلقاه ، عادة ، عندما تشكل حركة الشاحنات جزءاً رئيسيًا من الحركة المرورية الكلية . كما أن مفهوم الميل الـمُقيِّد يعد مساويًا لها في الأهمية أو حتى يضاهيها ، في الأقل ، للطرق المكونة من حارتين فقط . فالميل المقيد يخفض سرعة المركبة ، وإذا انخفضت السرعة لأقل من ٢٥ إلى ٣٠ ميل في الساعة ، فإن الميل المقيد يحد من عدد المركبات التي تستطيع تسلق المرتفع خلال وقت معين . وبالتالي ، تكون سعة الطريق مقيدة . وعمليًا ، فإن الميول الحادة تعمل على تخفيض سرعة الشاحنات والحافلات مما يزيد من عدد وحدات المركبات اللازمة لنقل حجم معين من الحركة ، كما يزيد من تكاليف الوقود وأجور العمال . أما السكك الحديدية والطرق على حد سواء ، فإن أطوال الميول الكبيرة ومجموع تلك الأطوال تعد مسائل ذات أهمية . إذ إن وجود ميل طويل حاد حاكم قد لا يكون خطيراً جداً ، إلا أن وجود سلسلة متتابعة من تلك الميول ، أو ميول أقل حدة ولكنها تقترب من الميل الحاكم في المقدار ، يمكن أن يكون لها تأثير عكسي شديد على أزمان المسير والتكاليف التشغيلية .

وتشكل الميول الحادة خطورة على سلامة المرور . إذ يجب أن تكون الكوابح في حالة جيدة وأن تستخدم بحذر لتلافي خروج المركبات عن طريقها والتفاف مقطورات الشاحنات حول جراراتها . وهذا الأخير يشكل خطورة كبيرة خاصة عند سير الشاحنات على طرق متجمدة ، وتميل المقطورة في هذه الحالة للتأرجح نحو الحارة المرورية المجاورة والالتصاق بالجرار . وعند استخدام المكابح الديناميكية في القاطرة الأمامية لقطار طويل فإن هناك خطراً أيضًا لارتطام العربات غير المكبوحة ببعضها وتراكمها حول وحدات القاطرات .

وفي حالة تحديد مواقع الطرق تحديدا خاصاً فإن المنشآت التي من صنع الإنسان تكون أحيانا ذات تأثير على الميول يوازي أهمية تأثير التضاريس الطبيعية . فعلى سبيل المثال ، قد تعمل ضرورة توفير فصل في الارتفاع عند إنشاء طريق سريع أو غيره من الطرق الحرة المتحكم بمداخلها على تحديد خط الميل للطريق بدون الرجوع لأي عوامل أخرى .

ويجب على القارئ مراجعة ما بحثناه في الفصل الخامس عن كمية الحركة والميول، وذلك عند إجراء تحليل تفصيلي لجوانب تكاليف الميول.

ويجب على مهندس تحديد الموقع أثناء القيام بذلك إظهار براعته لإبقاء الميول خفيفة قدر الإمكان. وفي المناطق الجبلية والتضاريس الوعرة، عادة، لا يمكن إنشاء ميول خفيفة إلا على حساب القيام بكميات كبيرة من عمليات الحفر أو إنشاء الجسور أو الأنفاق أو زيادة طول الطريق. وهذه العمليات باهظة التكاليف.

وقد يلجأ المهندس لزيادة طول الطريق أو الخط لتقليل معدل الميل. وبذلك، قد يُحدّد المسار في منطقة جبلية بحيث يبدأ من سفح الجبل والارتفاع التدريجي حوله عبر سلسلة طويلة من المرتفعات القليلة الميل نسبيًا حتى يبلغ القمة.

المواقع الحضرية. يواجه اختيار موقع المسار داخل المناطق الحضرية بصعوبات عديدة. فمسارات السكك الحديدية قد تكون على مستوى الشارع نفسه أو في طرق علوية (على جسر مستمر) أو في قطع مفتوح (مسارات سفلية) أو في أنفاق تحت الأرض. وتسبب المواقع التي على مستوى الشارع نفسه حدوث مشكلات في تأخير المرور وأخطار الحوادث، وتتطلب تكاليف مرتفعة للحماية عند تقاطع السكك الحديدية مع الشوارع. وقد تعمل الجسور سواء المستخدمة للطرق أم للسكك الحديدية على إيجاد حاجز ضخم (مثل سور الصين) للحركة من إحدى جهتي المسار إلى الجهة الأخرى. كما أن المنشآت المرتفعة غالبًا ما تكون غير مبهجة للنظر وتلقي بظلالها أثناء النهار على استخدامات الأرض المجاورة. كما أن المواقع التي تكون في قطع مفتوح تعمل، أيضًا، على الفصل الفعلي بين الأحياء. ويجب إنشاء جسور مكلفة للشوارع التي تعبر القطع المفتوح بالرغم من أن عددًا من تلك الشوارع غير نافذ. وتبرز في القطع المفتوح مشكلات تتعلق بتصريف المياه وجمع المخلفات وتنظيف السكة من الأوساخ. ويدور محور الاختيار بين السكة العلوية (على جسر مستمر) أو القطع المفتوح حول السؤال التالي: هل تُجعَل السكة الحديدية فوق الشارع أم يجعل الشارع فوق السكة؟ ويتطلب جعل الشارع فوق السكة، في الأقل، ٢٢ قدمًا (٦,٧١م) من الخلوص الرأسي فوق سطح القضبان على العكس من الخلوص الرأسي الذي يتراوح بين ١٢ و ١٦ قدمًا (٣,٦٦ إلى ٤,٨٨ م) المطلوب فوق سطح الشارع في الحالة الأخرى. وهذا الأخير يتطلب أعمالاً ترابية أقل إلا أن منشآت الجسور اللازمة لحمل السكة الحديدية يجب أن تكون أكثر تحملاً من تلك اللازمة في حالة الطرق.

وتنطبق المشاكل المتعلقة بمواقع مسارات السكك الحديدية على الطرق أيضًا، خصوصًا الطرق السريعة التي قد تشكل حواجز للنمو الحضري كما أنها تحتاج مساحات أكبر لإنشائها.

كما أن إنشاء مسار مفتوح يضيف إلى مشكلات التلوث الهوائي والضوضائي والبصري. وتكون تكاليف نزع ملكيات الأراضي الحضرية اللازمة للمسار باهظة التكاليف ودائمًا.

وتواجه الأنفاق، سواء استخدمت للسكك الحديدية بين المدن أو للنقل العام السريع داخل المدن أو للطرق، بصعوبات المنافع العامة المدفونة تحت الأرض من خطوط طاقة وصرف صحي ومياه وغاز

واتصالات وغيرها من الخطوط العديدة. وقد يكون النفق الفعلي عميقًا عمقاً كافياً لتلافي هذه المشكلة، إلا أنه غالبًا ما يكون من الضروري أثناء أعمال القطع والتغطية إبعاد خطوط المنافع العامة مؤقتًا إلى موقع آخر، ثم إنشاء النفق ثم إعادة خطوط المنافع العامة إلى موقعها الأصلي، وهذه عملية باهظة التكلفة. وهناك مشكلات وتكاليف إضافية تظهر خلال الحفر تتمثل في مقاطعة حركة المرور على الشوارع ونشوء أخطار هبوط التربة تحت المباني المجاورة (وهذه أيضًا مشكلة في أعمال القطع المفتوح). وتعمل متطلبات الأنفاق لتصريف المياه والتهوية والإنارة وصعوبات أداء أعمال الصيانة على زيادة تكاليفها.

ويعمل أي موقع للخطوط الحديدية خلاف الموقع على مستوى سطح الأرض على إيجاد صعوبات لخدمة مستخدمي الخط من المنشآت التجارية والصناعية المجاورة له، بل قد يستحيل ذلك أحيانًا. وفي المقابل، تعمل طرق الخدمة على جانبي الطرق السريعة على توفير خدمة محلية للمنشآت التي على جانبيها. ويجب الإبقاء على درجة ميل ممرات الإقتراب من القطع أو الأنفاق أو الطرق العلوية في السكك الحديدية أقل من ١٪، مما يتطلب زيادة طول الأرض والمنشآت اللازمة.

وأحيانًا تجمع المسارات الحضرية جميع الأنواع الأربعة الممكنة لمواقعها ضمن حدودها وامتداداتها الكلية.

العوامل البيئية. لم يلق موضوع الآثار البيئية لموقع المسار الاهتمام المطلوب إلا حديثًا. ويقصد بذلك تأثير المسار المقترح على الكائنات الحية وبيئتها، وهذا مرتبط ارتباطا كبيراً بمشكلات التلوث البيئي بأنواعها. والغاية المنشودة لأي عملية تخطيط هي تحقيق توازن بيئي مناسب. ويجب أن يُختار موقع الخط بحيث يتم ذلك مع أدنى قدر من خلخلة بيئة المنطقة التي يخترقها الخط أو القضاء عليها. فنمط حياة الحيوانات يتأثر بمدى قربها من الأنشطة البشرية، كما أن الحياة النباتية يمكن أن تتأثر، أيضًا. وقد تهاجر الحيوانات من المنطقة أو تتوقف عن التكاثر. كما قد تنخفض مساحة الأرض اللازمة للمحافظة على حياة الكائنات الفطرية المختلفة انخفاضاً كبيراً نتيجة تحديد حرم الطريق (الذي غالبًا ما يكون مُسيّجًا). ويمكن أن يعمل رصف الطريق أو السكة (أو السياج) على إقفال سبل الوصول إلى الماء ومناطق غذاء الحيوانات والمراعي وتعيق هجراتها الموسمية. كما أن عددًا من الحيوانات يقتل كل عام بوساطة القطارات ومركبات الطرق. ولذا، يجب تلافي إنشاء مسارات للنقل عبر محميات الحياة الفطرية والمناطق الرعوية قدر الإمكان. وحتى المتنزهات، يمكن أن تفقد جمالها الطبيعي إذا اخترقها مسار للنقل. وإذا كان من الضروري اجتياز المسار لمثل تلك المناطق يجب توفير تجهيزات لعبور الحياة الفطرية بين جانبي المسار أو تسييجه مع توفير معابر سفلية أو علوية للحيوانات.

ويمكن أن يؤدي شق المسارات على أطراف الجبال بأسلوب القطع إلى نحت الجبال وحدوث انهيارات صخرية. كما أن ردم المستنقعات أو الأراضي السبخة قد يقضي على الحياة الفطرية لبعض النباتات النادرة والحياة المائية، ويقضي على مصادر الشرب للطيور. وأيضًا، قد يعمل التلوث الهوائي على تقليل مستوى الحياة وحتى إمكانيتها للمزارع والقرى.

وهناك طريقة مفيدة للمساعدة على حل هذه المشكلة تتمثل في استخدام خريطة أساسية للمنطقة توضح فوقها عدة شرائح، وقد طوّر هذه الطريقة إلى درجة عالية السيد آيان ماكهارج (Ian McHarg)، (٥) وتحتوي الخريطة الأساسية على مخطط عام للممر وربما على مواقع تجريبية للمسار أيضًا. وإذا ماجمعت بيانات ميدانية، فإنها تُفرّغ على شرائح شفافة للخريطة، وذلك بتلوينها بألوان مختلفة لتمثيل النقاط المرورية والأراضي غير المستقرة والمعالم المهمة والمباني الأثرية والمتنزهات ومناطق الأشجار والغابات والأراضي السبخة والمستنقعات والبحيرات والأنهار وغيرها من المناطق البيئية والحياة الفطرية. ويعمل تتابع الشرائح على حجب المناطق غير الصالحة لموقع الطريق، وتظهر على الخريطة المناطق الصالحة لمد المسار عبرها. ثم يُمدّ أفضل المسارات الممكنة بين المناطق الصالحة متلافين بذلك المناطق الممنوعة. كما قد تشتمل الشرائح، أيضًا، على المناطق المحمية الأقل أولوية إذا كان من الضروري اختراقها لمد المسار.

والمسار الذي يُختار بهذا الأسلوب قد يكون مختلفًا كثيرًا عن الآخر الذي يُختار على أساس الجودة الهندسية، فقط. وهنا يأتي دور مشاركة المواطنين والمدخلات البيئية للمساعدة في تحديد الغايات وحل الغايات والأهداف المتضاربة والوصول إلى حل وسط. ويجب أن لا يغرب عن ذهن القارئ أن النقل يجب أن يساهم في تحسين نوعية الحياة وليس التقليل من مستواها، وذلك لجميع الكائنات الحية التي تعيش في المنطقة.

أسئلة للدراسة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - ما أهم وظائف وزارة النقل ومسؤولياتها؟

٢ - إذا قررت دولة ما إنشاء مسار لطريق يربط مدناً مهمة عبر الدولة، ما الخطوات الواجب اتباعها لتعريف الممر العام لموقع الطريق؟

٣ - ما العوامل التي تدخل في اختيار مسار معين داخل الممر العام الذي عُرِّف في السؤال السابق.

٤ - قارن بين التكاليف التشغيلية لمسارين حديديين مقترحين ينقل كل منهما ١٨٠٠٠ طن إجمالي في اليوم ويحتوي أحدهما على ما مجموعه ٧٨٩٠ درجة من الزوايا المركزية في المسار والآخر على ما مجموعه ٦٣٠٠ درجة من الزوايا المركزية. افرض أن التكاليف التشغيلية لكل ١٠٠٠ طن إجمالي - ميل هي ٥,٠٠ دولارات.

٥ - يراد إنشاء وصلة لطريق بين جبلين يبعدان عن بعضهما مسافة ٣ أميال، فإذا كان منسوب الطريق عند الجبل الأول ٩٨٠ قدمًا فوق مستوى سطح البحر ومنسوب الطريق عند الجبل الثاني ٢١٨٠ قدمًا فوق سطح البحر، ما الإجراءات التي يمكن اتباعها لتحقيق ذلك مع المحافظة على حد أقصى للميل قدره ٣٪؟ ما المشكلات التي يمكن أن تنشأ عن هذا الحل؟

---

(٥) Ian McHarg, Design with Nature, Natural History Press, Garden City, New York, 1969.

٦ - اشرح العوامل البيئية التي يمكن أن تدخل في عملية اختيار مسار للنقل، وصف أسلوبًا لتحديد المواقع المناسبة بيئيًا للمسار. هل لهذا الأسلوب تطبيقات اقتصادية وهندسية، أيضًا؟

٧ - ما الصعوبات الخاصة التي يواجهها مهندس تحديد موقع مسار للنقل داخل المناطق الحضرية مقارنة بالمواقع الخلوية؟

٨ - اذكر الخطوط العريضة للعوامل التي قد تدخل في عملية تحديد نوع التقاطع العلوي لسكة حديدية مع طريق: هل يجب أن تكون السكة الحديدية فوق الطريق أم تحته؟

قـــراءات مقتـرحـــة

SUGGESTED READINGS

1. A. M. Wellington, *The Economic Theory of the Location of Railways,* 1906 edition, Wiley, New York.
2. "Economics of Plant, Location, and Operation", chapter in the *Manual for Railway Engineering* (Fixed Properties), American Railway Engineering Association, Chicago, Illinois.
3. W. W. Hay, *Railroad Engineering,* Volume I, Wiley, New York, 1953, Part I.
4. *Social, Economic, and Environmental Implications in Transportation Planning,* Transportation Research Record 583, Transportation Research Board-National Research Council, Washington, D. C., 1976 .
5. L. I. Hewes and C. H. Oglesby, *Highway Engineering,* Wiley, New York, 1963, Chapter 3, "Highway Planning".
6. *Location and Economic Impact Investigation for Interstate Route 24,* report to the states of Illinois, Kentucky, Missouri, and Tennessee by Wilbur Smith and Associates, Columbia, South Carolina, 7 January 1963.
7. *Illinois Needs and Fiscal Study:* final Report, prepared by Wilbur Smith and Associates, New Haven, Connecticut, October 1967.
8. 1972 *National Highway Needs Report,* Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation, Washington, D. C., May 1972.
9. *Preliminary Standards, Classification, and Designation of Lines,* Volumes I and II, U. S. Department of Transportation, Washington, D. C., 3 August 1976.
10. Ian McHarg, *Design with Nature, Natural History Press,* Garden City, New York, 1969.
11. Robert a. Snowbar, "Planning for Mass Rapid Transit", *Modern Government and National Development,* September 1969.
12. *Specifications for Development of a Railroad Network Model,* submitted by the Committee on Analytical Techniques, Association of American Railroads, Washington, D. C., 1969.
13. *The AAR Network Simulation system* (A Tool for the Analysis of Railroad Network Operations), developed by the Midwest Research Institute, Kansas City, Misssouri, February 1971.
14. *A Model-Bulding Concept for Facilitating the Application of Existing Network Simulation Models,* PhD theisi by Seung Jai Kim, University of Illinois, Urbana, Illinois, February 1974.
15. *Issues in Statewide Transportation Planning,* Special Report 146, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 1974.

الفصل السابع عشر

مسارات النقل: تصنيفها ومواقعها وتصميمها
ROUTE CLASSIFICATION, LOCATION, AND DESIGN

تصنيف المسارات
ROUTE CLASSIFICATION

تُصنّف مسارات النقل من أجل تعريفها وتمييزها إلى عدة أنواع أو أصناف حسب الغرض منها ومواصفات استخدامها وإنشائها، كما تُصنّف لأجل تحديد مصادر التمويل وأولوياته.

الطرق Highways . عرّفت دراسة النقل القومية الأمريكية في عام ١٩٧٤م أربعة أصناف للطرق الخلوية حسب نوع الخدمة التي تؤديها، وهي: طرق سريعة عبر الولايات، وطرق شريانية (رئيسية وثانوية)، وطرق تجميعية (رئيسية وثانوية)، وطرق محلية. وتحمل الطرق عبر الولاية والطرق الشريانية نحو ٦٠٪ من مجموع مركبة – ميل من الحركة مع أنها تشكل ٩,٣٪ فقط، من مجموع أطوال الطرق؛ والعكس صحيح للطرق التجميعية والمحلية.

أما داخل المناطق الحضرية فهناك الطرق المقسومة الحارات مع تحكم كامل أو جزئي في المداخل والمخارج (طرق سريعة)، وأيضًا شوارع مجمعة وموزعة وشوارع رئيسة (وثانوية) وشوارع محلية للوصول بدون أي تحكم في الدخول إليها والخروج منها.

ويعد تصنيف الرابطة الأمريكية للمسؤولين الحكوميين للطرق العامة والنقل (المعروفة اختصارًا بآشتو AASHTO) شائع الاستخدام في تصميم الطرق وهو معتمد لدى جميع الولايات الأمريكية، وكذلك لدى الحكومة الاتحادية الأمريكية.[1] وهو كالتالي:

الطرق الحرة السريعة Freeways. وهذه تشمل الطرق السريعة عبر الولايات وغيرها من الطرق المتعددة الحارات والتي يكون هناك تحكم كامل في مداخلها ومخارجها. وهي تحمل أحجامًا مرورية كبيرة تسير عليها لمسافات طويلة. وعمومًا، تكون سرعاتها التصميمية بين ٨٠ و ١١٥ كم/ ساعة (٥٠ إلى ٧٠ ميلا/ ساعة) حسب تضاريس الأرض، ولا تتجاوز درجة ميل الطريق ٥٪، ونادرًا ما تتجاوز درجة انحناء الطريق ٣ درجات.

الطرق الشريانية Arterials. وهي تشمل الطرق الرئيسة التي لا تدخل في صنف الطرق الحرة السريعة وتحمل أحجامًا مرورية عالية لمسافات طويلة. وهي تشكل جزءًا من شبكة الطرق الرئيسة للولاية ولكنها بدون تحكم في مداخلها ومخارجها. وقد تصل درجة ميل الطريق الشرياني حتى ٩٪ في المناطق الجبلية وسرعتها التصميمية تتراوح بين ٨٠ و ١١٥ كم/ ساعة (٥٠ إلى ٧٠ ميلاً/ ساعة).

الطريق التجميعية Collectors. وهي طرق ثانوية بدون تحكم في مداخلها ومخارجها وتحمل الحركة المرورية من الطرق الشريانية إلى الأراضي المجاورة وبالعكس. وسرعتها التصميمية تتراوح بين ٤٨ و ٨٠ كم/ ساعة (٣٠ إلى ٥٠ ميلاً/ ساعة) مع ميول تصل درجتها إلى ٩٪.

الطرق والشوارع المحلية Local Roads and Streets. وهذه عادة ما تكون طرقا مكونة من حارتين وتوفر الوصول إلى أي مكان في الأراضي المجاورة. وسرعتها التصميمية بطيئة ودرجة ميولها قد تكون عالية حتى درجة ١٢٪ في بعض الأحيان. وهذه الطرق لا تشجع على استخدامها للحركة العابرة.

مسارات السكك الحديدية Rail Routes. تقليديًا، تصنف خطوط السكك الحديدية إلى خط رئيس وخط رئيس ثانوي وخط فرعي. وفي الولايات المتحدة، يستخدم تصنيف مكون من ست فئات مبدئية لخطوط السكك الحديدية التي تمتد بطول ١٩٣٥٠٠ ميل وتشكل الشبكة الرئيسة للخطوط الحديدية في أمريكا. انظر الجدول (١٫١٧).

وقد أعطيت الخطوط الحديدية مسميات مبدئية على أساس ما يلي: (١) الكثافة (مقاسة بإجمالي الأطنان المنقولة أو الأعداد الإجمالية لركاب القطارات)، و(٢) خدمة مناطق الأسواق، أي الخطوط الحديدية المهمة لربط

---

(١) A Policy on the Geometric Design of Highways, American Association ofStateHighway and Transportation Officials, Washington, D. C., 1990.

الأسواق الرئيسة ، و(٣) مستوى ملائم من السعة ، أي استخدام عال للمرافق الثابتة والمحافظة على المنافسة مع ضرورة وجود حجم كاف من الحركة لكل ناقل من الناقلين على المسار العابر نفسه (ناقلين اثنين أو أكثر) لتفادي اعتبار أحد الناقلين زائدًا عن الحاجة ، و(٤) الضرورة الدفاعية للبلاد .

الجدول (١٧,١): الفئات المبدئية للخطوط الحديدية.(أ)

عنوان الفئة	وصف الفئة	نسبتها المئوية من مجموع أطوال الشبكة الرئيسة
١ - خط رئيس من الصنف (أ)	في الأقل ٢٠ مليون طن إجمالي ميل لكل ميل في السنة في الأقل ٣ عمليات للركاب يوميا في كل اتجاه يعد الرابط الرئيس لمنطقة النقل	١٥,٥ ٠,٨ ٠,٨
٢ - خط رئيس محتمل من الصنف (أ)	وضع مؤقت للخطوط العابرة الواقعة في ممرات لها سعة فائضة . وسيتم تصنيفها في فئة أخرى حالما يتم القضاء على عدم أهميتها	١١,٦
٣ - خط رئيس من الصنف (ب)	أقل من ٢٠ مليون طن إجمالي ولكن لا تقل عن ٥ ملايين	٢١,٧
٤ - خط فرعي من الصنف (أ)	أقل من ٥ ملايين طن إجمالي ولكن لا تقل عن مليون واحد	٢١,٩
٥ - خط فرعي من الصنف (ب)	أقل من مليون طن إجمالي	٢٥,٦
٦ - خط فرعي ضروري للأغراض الدفاعية	ضروري لتوصيل ونقل الحمولات العسكرية ذات الأحجام الضخمة .	٢,١

(أ) Preliminary Standards, Classification, and Designation of lines of Class I Railroads in the United States, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., August 3, 1976.

الموقـــع
LOCATION

طرق تحديد الموقع Location Procedures. تتشابه الأعمال الميدانية وطرق تحديد مواقع المسارات لجميع أنواع النقل . وفي البداية ، تحدّد مواقع المحطات والنقاط الوسطية المعروفة ثم تُجرى دراسة مسحية استكشافية لشريط من الأرض بعرض يتراوح بين نحو ثلث ونصف المسافة بين أي نقطتين ثابتتين من نقاط التحكم . وفي الماضي ، كان الاستكشاف يتم مشيًا على الأقدام أو على ظهور الخيل أو بقوارب صغيرة . أما اليوم فيمكن القيام بذلك

باستخدام السيارات الآلية والطائرات واستخدام الخرائط والصور الجوية، وهذه الأخيرة يمكن الاستفادة منها لتقليل عرض شريط الأرض الخاضع للدراسة. فالتصوير الجوي مفيد خصوصاً في الدراسات التي ليس لها طابع الاستعجال حيث تُحدّد المواقع الحرجة التي تتطلب مشاهدات ميدانية إضافية ربما على الأقدام. وعادة ما تكون هناك هيئة حكومية مختصة بإجراء المسوحات الجوية مسحاً دورياً وتوفير الخرائط والصور الجوية وبيانات التحكم الخاصة بذلك. وتساعد طرق التصوير المجسم أو الثلاثي الأبعاد بإيجاد الارتفاعات ورسم الخرائط الكنتورية وإجراء تقديرات للأعمال الترابية. وهكذا نرى أن معظم الأعمال الاستكشافية يمكن أن تتم في المكتب. وسواء أكان العمل مكتبيًا أو ميدانيًا فيجب أن توفر المسوحات الاستكشافية جميع المعلومات حول التفاصيل المتعلقة بالتضاريس والمزروعات والمناخ وطبوغرافية الأرض والأعمال والإنشاءات البشرية وأي عوامل أخرى يمكن أن تؤثر على اختيار مسارات النقل. وعملية الاستكشاف ما هي إلا دراسة للمنطقة، فقط، وليست محاولة لتحديد الموقع الفعلي لمسار النقل. إذ يأتي تحديد الموقع ضمن حدود المنطقة التي يجري استكشافها في مرحلة لاحقة.

وبعد الاستكشاف والمسح المكتبي، يحدد في الموقع خط مبدئي أو أكثر إما تحديداً جزئياً أو تحديداً كاملاً. وتمد الخطوط الأفقية حتى تتقاطع مع بعضها ولكن بدون تحديد المنحنيات عند نقاط التقاطع. وتحّدد طبوغرافية الأرض بتفصيل كاف لإجراء مقارنة بين المواقع البديلة من حيث تكاليف الإنشاء والتشغيل. كما تقارن تأثيرات كل من الميول والانحناءات والمسافة على تكاليف تشغيل الأعمال الترابية والجسور والأنفاق وإنشائها... إلخ، وذلك لكل مسار ممكن. وهذه المقارنات تتم بمساعدة الحواسيب حيث توفر كثيرًا من الوقت اللازم لإجراء المقارنات التفصيلية لعديد من المسارات. وتجدر ملاحظة أنه يمكن أحيانًا الاستغناء عن المسوحات المبدئية إذا توافرت خرائط جوية مناسبة.

وعندما يُختار موقع المسار يحدّد موقعه النهائي على الطبيعة مع إظهار المنحنيات والإزاحات عند الحاجة إليها. كما يحدّد المقطع العرضي الكامل للمسار.

وتشمل المسوحات الإنشائية تحديد الموقع النهائي بغرس شوك صغيرة فيها أعلام مع تحديد الإزاحات والميول والأعلام التي تحدد الحدود الرأسية والأفقية لقطاعات الحفر والردم.

مواصفات التصميم والإنشاء Standards of Design and Construction. لا يمكن إجراء تقويم مبدئي واختيار موقع مسار النقل اختياراً مناسباً إلا بعد تحديد مواصفات معينة للتصميم والإنشاء، في الأقل، ولو مؤقتاً. وتعد كمية الحركة المرورية التي يجب نقلها خلال فترة معينة أحد المعايير المهمة لتصميم المسار. وتؤدي عوامل المسار والحركة المرورية دورًا أساسيًا في تحديد كل من الميول القصوى المسموح بها ودرجات الانحناء ومسافات الرؤية وأعداد المراكب التي يمكن لكل هويس استيعابها، وأعداد الحارات المرورية أو السكك أو السيور أو أسلاك العربات الهوائية المعلقة وأعداد خطوط الأنابيب وأقطارها وأعداد العربات أو المراكب أو الشاحنات أو محطات الضخ. كما يُحسب كل من قوى الجر أو الدفع أو الضخ بناء على العوامل السابقة. وتحدّد هذه المواصفات جميعها في ضوء الحركة المرورية والتضاريس والتربة والطقس والمنشآت البشرية... إلخ. وقد تطرقنا إلى عديد من هذه العوامل في فصول سابقة.

وقد وضعت مواصفات وتوصيات فنية بهذا الخصوص بوساطة عدد من الهيئات الفنية والحكومية. وتشمل المصادر النموذجية، على سبيل المثال، دليل هندسة السكك الحديدية من إصدار رابطة مهندسي السكك الحديدية الأمريكي، وأدلة التصميم التي أصدرتها إدارة الطيران الاتحادية الأمريكية، ودليل التصميم الهندسي للطرق من إصدار الرابطة الأمريكية للمسؤولين الحكوميين للطرق العامة والنقل (آشتو AASHTO)، والمواصفات المتعددة للسلامة في السكك الحديدية والمعدات والإشارات من إصدار إدارة السكك الحديدية الاتحادية الأمريكية.

التصميم الهندسي
GEOMETRIC DESIGN

يشمل التصميم الهندسي استخدام المماسات والمنحنيات بتراكيبها المختلفة لتحديد المحاذاة الأفقية للمسار، واستخدام المنحنيات الرأسية والميول لتحديد القطاع الطولي للمسار أو المحاذاة الرأسية. وسنعرض فيما يلي قليلاً من الأمثلة للمسائل والعناصر النموذجية في التصميم الهندسي.

المحاذاة Alignment. المنحنيات الأفقية أقواس بسيطة من دوائر. وتقاس حدة المنحنى بدرجة المنحنى (D) إلا أن مقدار الإنحناء أو طوله يقاس بالزاوية المركزية (I) وهي زاوية الانحراف بين المماسين المتقاطعين مقاسة عند نقطة تقاطعهما التي يرمز لها بالرمز (PI). انظر الشكل (١ ,١٧). وكما ذكرنا سابقًا، فإنه يكتفى في المسوحات المبدئية للمسار بتحديد نقطة تقاطع المماسين، إلا أنه يلزم في المسوحات النهائية توقيع المنحنيات، أيضًا. وتمثل المسافات المتساوية بين النقطة (PI) والنقطتين (PC) و(PT) «نقطة المنحنى ونقطة المماس على الترتيب» مسافات المماسات. وباستخدام حساب المثلثات البسيط، فإن مسافة المماس تساوي:

$$TD = R \tan I/2$$

حيث إن:

R = نصف قطر المنحنى بالقدم.

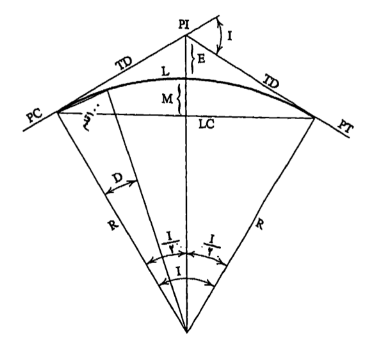
$\tan I/2$ = ظل الزاوية ($I/2$).

وتعرف درجة المنحنى بأنها الزاوية المركزية المحصورة بوتر طوله ١٠٠ قدم (التعريف الوتري)، أو حسب تعريف آخر، المحصورة بقوس طوله ١٠٠ ,٠٠٧ قدم (التعريف القوسي) ويمكن تحديد العلاقة بين درجة المنحنى ونصف قطره بمساواة محيط المنحنى بالقدم مع محيط وحدة الوتر (أو القوس) المحصور بالزاوية (D) درجة كالتالي:

$$2\pi R = \left(\frac{360}{D}\right)(100.007)$$

وبالتالي، فإن (تقريبًا):

$$D = \frac{5730}{R}$$



Tangent distance = $TD = R \tan I/2$
Long chord = $LC = 2R \sin I/2$
Midordinate = $M = R \text{ vers } I/2$
External distance = $E = R \text{ exsec } I/2$
Length of curve = $L = I/D \times 100$

TD = مسافة المماس = R × ظل الزاوية $\left(\frac{I}{٢}\right)$
LC = طول الوتر = ٢ × R × جيب الزاوية $\left(\frac{I}{٢}\right)$
M = سهم القوس = R (١ − جيب تمام الزاوية $\frac{I}{٢}$)
E = المسافة الخارجية = R ($\frac{١}{\text{جيب تمام الزاوية } \frac{I}{٢}}$ − ١)
L = طول المنحنى بالقدم = ١٠٠ × $\frac{I}{D}$

الشكل (١٧,١). دوال المنحنيات البسيطة.

أو بالعكس:

$$R = \frac{5730}{D}$$

وإذا استخدمنا التعريف الوتري فإن:

$$R = 50 / (\sin D/2)$$

حيث إن:

$\sin D/2$ = جيب الزاوية $(D/2)$.

ومن ذلك، نجد أن طول المنحنى (L) يساوي $\left(\frac{I}{D}\right)$ بوحدة المحطات الهندسية التي يبلغ طول الواحدة منها ١٠٠ قدم أو:

$$L = \frac{I}{D} \times 100$$

حيث L بالأقدام .

ويتم توقيع المنحنيات على الطبيعة عن طريق تحديد تقاطع الخطوط المماسية وقياس زاوية الانحراف الخارجية (I) . وتحسب مسافة المماس ثم تحدد نقطة المنحنى (PC) ونقطة المماس (PT) عن طريق قياس مسافة المماس إلى كل منهما من نقطة التقاطع (PI) . وتُحدّد النقاط الأخرى للمنحنى وتثبت عن طريق تدوير زوايا الانحراف التي تختلف كل منها عن الأخرى التي قبلها بزاوية تساوي نصف درجة المنحنى أو ($D/2$) . فإذا كانت درجة المنحنى تساوي أربع درجات وزاوية التقاطع تساوي ١٢ درجة ، فإن زاوية الانحراف الأولى تساوي صفراً والزاوية الثانية تساوي درجتين والزاوية الثالثة تساوي أربع درجات والزاوية الرابعة تساوي ست درجات أو نصف زاوية التقاطع . وأثناء تدوير زوايا الانحراف ، تحدّد النقاط على المنحنى عن طريق خط النظر مع الوتر بطول ١٠٠ قدم الذي يبدأ من النقطة (المحطة) السابقة التي ثُبّت موقعها . ويجب أن تتطابق زاوية الانحراف الأخيرة مع نقطة المماس (PT) للتأكد من الدقة .

وقد تتصل المنحنيات الدائرية البسيطة المختلفة في درجات انحنائها أو أنصاف أقطارها مع بعضها لتؤلف ما يعرف بالمنحنيات المركبة ، وذلك عندما توجد قيود شديدة من حيث التضاريس أو غيرها من العوائق . والتصميم باستخدام المنحنيات المركبة غير مستحب (وأحيانًا يكون خطرًا خصوصًا في تصميم الطرق البرية) ، ويجب أن لا يُستخدم إلا بعد فشل جميع الحلول الأخرى .

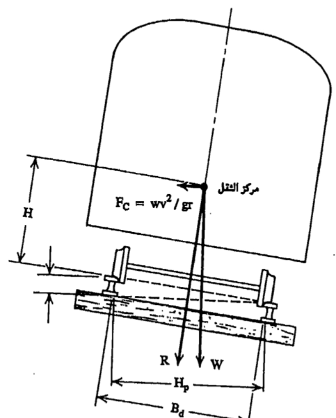
التعلية الجانبية Superelevation. يُرفع منسوب القضيب الخارجي للسكة الحديدية عن منسوب القضيب الداخلي ، وكذلك الحافة الخارجية لبلاطة الطريق عن الحافة الداخلية في المنحنيات الأفقية ، وذلك لمعادلة القوة الطاردة المركزية التي تعمل على دفع المركبة إلى الخارج عند حركتها على المنحنى . وكما يظهر في الشكل (٢ , ١٧) ، فإن الوزن (W) الذي يعمل إلى الأسفل مارًا عبر مركز الثقل (CG) والقوة الطاردة المركزية (F_c) يتحدان في محصلة القوى (R) . ولتحقيق التوازن ، أي أن يتوزع الوزن توزّعاً متساوياً على كل العجلات ، يجب أن تمر محصلة القوى عبر منتصف المسافة بين العجلات . وباستخدام المثلثات المتشابهة للوزن وللمسافة ، نحصل على :

$$\frac{e}{F_c} = \frac{4.9}{W}$$

أو

$$e = \frac{4.9 F_c}{W}$$

حيث إن ٩ , ٤ (أو 4.9 في المعادلة) هي المسقط الأفقي للمسافة (٦٠ قدماً أو ٤ , ١٥٢ سم) بين نقاط التحمل للعجلات على قضبان السكة ذات القياس النمطي البالغ ٧١ , ٤ قدم (٤٤ , ١ متر) . ومن علم الفيزياء ، نعرف أن معادلة القوة الطاردة المركزية هي :



H = المسافة من سطح السكة إلى مركز الثقل : ٧٢ إلى ٩٨ بوصة (١٨٣ إلى ٢٤٩ سم) (عادة)
B_d = المسافة بين نقاط التحمل
H_p = المسقط الأفقي للمسافة بين نقاط التحميل : ٤,٩ قدم (١,٤٩م) للمقياس النمطي

الشكل (١٧,٢). التعلية الجانبية للسكة الحديدية.

$$F_c = \left(\frac{w}{g}\right)\left(\frac{v}{R}\right)$$

حيث إن :

w = وزن المركبة بالرطل.

v = السرعة بالقدم/ ثانية = ١,٤٧ V عندما تكون V السرعة بالميل/ ساعة.

R = نصف قطر الانحناء بالقدم = ٥٧٣٠ ÷ D.

g = عجلة الجاذبية = ٣٢,٢ قدم/ ثانية مربعة (٩٨٠ سم/ ثانية مربعة).

وبإدخال هذه العوامل في معادلة التعلية الجانبية وتحويل السرعة إلى ميل/ ساعة نحصل على :

$$e = 0.0007\,DV^2$$

(بالبوصة)

أو

$$e = 0.001778\,DV^2$$

(بالسنتيمتر)

و لأن القطارات تسير بسرعات مختلفة على السكة نفسها، فإن القوة الطاردة المركزية تعمل على تحريك محصلة القوى نحو القضيب المرتفع أو القضيب المنخفض بناء على ما إذا كانت السرعة أكبر أو أصغر من السرعة عند التوازن. وتتحقق السلامة وراحة الركاب عندما تقع المحصلة ضمن حدود الثلث الأوسط من المسافة العرضية بين القضبان. وهذه تعادل تقريبًا ٣ بوصات (٧,٦٢ سم) من التعلية الجانبية غير المتزنة، حيث:

$$e_a = 0.0007DV^2 - 3$$

(بالبوصة)

وتصبح السرعة القصوى المسموح بها:

$$V_m = \sqrt{\frac{e_a + 3}{0.0007D}}$$

حيث إن:

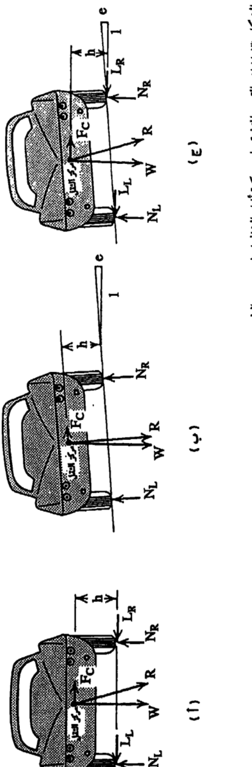
V_m = السرعة القصوى المسموح بها بالميل/ ساعة.

e_a = التعلية الجانبية الفعلية بالبوصة.

وهناك قيد آخر يوضع على قيمة (V_m) وذلك بتقييد مقدار التعلية الجانبية التي قد يلجأ إليها بسبب إمكانية خروج القطارات البطيئة، أو تلك التي تبدأ حركتها من وضع الوقوف، من سككها. وتنص مواصفات سلامة السكة التي أصدرتها إدارة السكك الحديدية الاتحادية الأمريكية على أن لاتزيد قيمة (e_a) على ٦ بوصات (١٥,٢٤ سم). وعند تنفيذ التعلية الجانبية للسكة الحديدية في الطبيعة، يثّبت منسوب القضيب السفلي أو الداخلي للمنحنى، عادة، على منسوب القطاع الطولي للسكة نفسه ورفع القضيب الخارجي بكامل مقدار التعلية الجانبية.

وإذا اتبعنا الأسلوب نفسه وطبقناه على الطرق البرية فإن التعلية الجانبية لبلاطة الرصف التي يحدث عندها التوازن تساوي [$e = 0.0000117DV^2$] قدم لكل قدم عرضي للبلاطة، حيث إن (D) و (V) هما كما سبق تعريفهما. وأيضًا، فإن الوزن (W) والقوة الطاردة المركزية (F_c) يتحدان ليشكلا محصلة القوى (R).

وتختلف مركبات الطرق عن مركبات السكك الحديدية التي تسترشد عجلاتها المشفهة بالقضبان بأن عملية الإرشاد تتم، فقط، بوساطة توجيه السائق لعجلة القيادة والاحتكاك الجانبي بين الإطارات والرصف، أي أنه يجب معادلة القوة الطاردة المركزية بوساطة الوزن والمقاومة للاحتكاك الجانبي. ويظهر في الشكل (٣,١٧أ) سيارة تسير على منحنى منبسط بدون أي تعلية جانبية، حيث توجد عزوم تعمل على قلب السيارة وتساوي حاصل ضرب القوة الطاردة المركزية × ذراع العزم وهو ارتفاع مركز ثقل السيارة عن سطح الرصف (h). وفي المقابل، هناك عزوم



الشكل (٣,١٧). القوى المؤثرة على مركبة أثناء التفافها على منحنى الطريق.

أخرى تعمل على الحد جزئيًا من تأثير عزوم القوة الطاردة المركزية وهي حاصل ضرب وزن المركبة (W) × ذراع العزم المساوي لنصف المسافة العرضية بين العجلات. ونظرًا لانخفاض مركز الثقل للسيارات الخاصة، فإنها لا تتعرض للانقلاب ولكنها تميل للانزلاق جانبيًا. وهذا لا ينطبق دائمًا على الشاحنات التي يكون مركز ثقلها غالبًا مرتفعًا. والاحتكاك الجانبي بين الإطارات والرصف أمر مطلوب للعمل على منع انزلاق المركبة خارج المنحنى.

وللقضاء التام على تأثير القوة الطاردة المركزية، فإن:

$$Wf = (N_L + N_R)f = \frac{wv^2}{gr}$$

حيث إن (N_L) و (N_R) هما القوتان العموديتان للإطارات على سطح الرصف للعجلات الداخلية والخارجية على التوالي، و(f) هو معامل الاحتكاك بين الإطار والرصف. وعند تحييد تأثير القوة الطاردة المركزية، فإن $\left[f = V^2/_{15R}\right]$. وتتراوح قيم ($f$) بين ٣٠, ٠ و ٥٠, ٠ للرصف الناعم الجاف، إلا أنها تنخفض إلى ٢٠, ٠ للرصف المبلل وإلى ١٥, ٠ أو أقل للرصف المغطى بالجليد أو الثلج.

وعند سير المركبة بسرعة التوازن، فإن وزن المركبة يتوزع بالتساوي على جميع العجلات ولا يكون هناك أية قوة إنزلاق جانبية. انظر الشكل (٣, ١٧ب). ولكن في الواقع، فإن السيارات لا تسير بسرعة التوازن. وعند سيرها بسرعات تزيد على سرعة التوازن، فإن هناك إمكانية لانزلاق المركبة إلى خارج المنحنى أو انقلابها أو كليهما. ولتحقيق الاستقرار، لابد من إيجاد قوى جانبية لمقاومة قوى الانزلاق الجانبي أو الانقلاب، وذلك عند حواف الإطارات. وهذه القوى هي (L_R) و(L_L) الموضحة في الشكل (٣, ١٧ ج). ويصبح المعامل الفعّال للاحتكاك:

$$f_e = \frac{V^2}{15R} - e_e$$

وبالتعويض بقيمة [$5730/D$] بدلاً من نصف القطر (R) وحل المعادلة لإيجاد قيمة V:

$$V = 293.2\sqrt{\frac{e_e + f}{D}}$$

ويمكن، أيضًا، إعادة ترتيب هذه المعادلة لإيجاد درجة المنحنى القصوى أو التصميمية بمعرفة السرعة والتعلية الجانبية ومعامل الاحتكاك.

$$D_{max} = 85,950\frac{(e+f)}{V^2}$$

و لأن التعلية الجانبية تتكفل بالتغلب على معظم آثار القوة الطاردة المركزية، فإن الحاجة للاعتماد على الاحتكاك لمنع الانزلاق الجانبي تصبح قليلة. ويوصى باستخدام قيم لمعامل الاحتكاك تتفاوت من ١٦, ٠ عند سرعة ٣٠ ميلاً/ ساعة (٤٨,٣ كم/ ساعة) إلى ١٢, ٠ عند سرعة ٧٠ ميلا/ ساعة (١١٣ كم/ ساعة).[٢] وقد يؤدي استخدام قيم أعلى من تلك لضيق الركاب وعدم راحتهم.

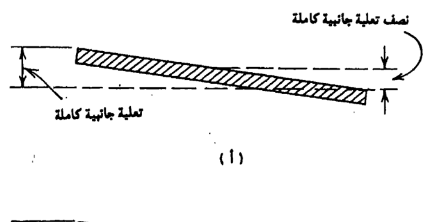
---

(٢) C. H. Oglesby and L. I. Hewes, Highway Engineering, Wiley, New York, 1963, p.220.

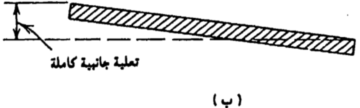
كما أن هناك حدودًا، أيضًا، لمقدار التعلية الجانبية. إذ قد تسبب التعلية الجانبية الكبيرة الانزلاق إلى داخل المنحنى إذا كان هناك ثلج أو جليد يقلل من قيمة معامل الاحتكاك. وللاحتياط لأسوأ الظروف التي قد تحدث، فإن مواصفات آشتو (AASHTO) حددت التعلية الجانبية القصوى المسموح بها بـ ١٢, ٠ قدم لكل قدم في الأحوال العادية، إلا أنها تنخفض إلى ٠٨, ٠ قدم لكل قدم في حالة وجود جليد أو ثلج.[٣] كما أنها لا توصي باستخدام أية تعلية جانبية في المنحنيات التي تكون درجة انحنائها ٥, ١ درجة أو أقل عند السرعات التي لا تزيد على ٣٠ ميلاً / ساعة (٤٨ كم/ ساعة) أو للسرعات ٧٠ ميلاً / ساعة (١١٣ كم/ ساعة) في المنحنيات التي درجة انحنائها ٢٥, ٠ درجة أو أقل، وذلك على أساس معامل احتكاك (f) قدره ٠٢٧, ٠.

وتعمل التعلية الجانبية، أيضًا، على المساعدة على «توجيه» السيارة حول المنحنى إذ يعمل الميل العرضي للرصف ضد الحركة الأفقية التلقائية للعجلات.

وقد جرت العادة على تثبيت المحور الوسطي للطريق على منسوب القطاع الطولي للطريق نفسه ورفع الحافة الخارجية بمقدار نصف التعلية الجانبية وخفض الحافة الداخلية بالمقدار نفسه(الشكل ٤, ١٧). وعند الحاجة لتسهيل تصريف المياه، يمكن وضع جميع التعلية الجانبية في الحافة الخارجية للرصف.



(أ)



(ب)

(أ) بلاطة مدارة حول المحور الوسطي (ب) بلاطة مدارة حول الحافة الداخلية

الشكل (١٧,٤). توزيع التعلية الجانبية.

(٣) A Policy of Geometric Design of Highways, Association of American StateHighway and Transportation Officials, Washington, D. C., 1990.

المنحنى الانتقالي Transition Curve . يستعمل المنحنى الانتقالي أو المتدرج للانتقال التدريجي من الخط المستقيم (المماس) إلى كامل الانحناء في المنحنى الدائري (التغير في العجلة الجانبية)، ولإدخال التعلية الجانبية تدريجيًا من الصفر عند الطريق المستقيم إلى كامل التعلية الجانبية في المنحنى. وإذا لم يكن المنحنى الانتقالي موجودًا فإن سائق المركبة على الطريق سيأخذ اتجاهًا انتقاليًا بتغيير خط سيره، إلا أن هذا يشكل خطورة ويمكن أن يؤدي إلى تجاوز السائق لحارة الطريق التي يسير عليها والدخول في الحارات الأخرى المجاورة. أما في السكك الحديدية فإن السكة تحدد خط سير القطار. وتعد المنحنيات الانتقالية ضرورية لسلامة التشغيل وسهولته في منحنيات القطارات السريعة وفي الطريق.

ولربط الخط المستقيم مع المنحنى البسيط، يستعمل، غالبًا، المنحنى الانتقالي الذي يعرف باسم القطع المكافئ المكعب(Cubic Parabola) وهو قطع مكافئ من الدرجة الثالثة، إلا أنه يمكن استخدام أنواع أخرى من المنحنيات الحلزونية أو الانتقالية. ويجب الأخذ بالاعتبار استعمال منحنى القطع المكافئ المكعب خلال عملية التصميم وبالتالي، إزاحة المنحنى الدائري البسيط إلى الداخل لمسافة كافية من المماس لتوفير مساحة ملائمة للمنحنى الانتقالي. انظر الشكل (١٧,٥) لمعرفة العلاقات الهندسية لهذا المنحنى.

ويمكن توقيع المنحنى الانتقالي من نوع القطع المكافئ المكعب بمعرفة طول المنحنى (S) (مقدرًا بوحدة المحطات التي طولها ١٠٠ قدم أو ٤٨,٣٠ متر) ومقدار الإزاحة الرأسية عن المماس التي تتغير تقريبًا مع مكعب المسافة على المماس أو مقدار زاوية الانحراف التي تتغير مع مربع المسافة على المماس. وتزيد درجة المنحنى الحلزوني خطيًا بمعدل معين قدره (K) درجة لكل محطة (١٠٠ قدم) بحيث تكون:

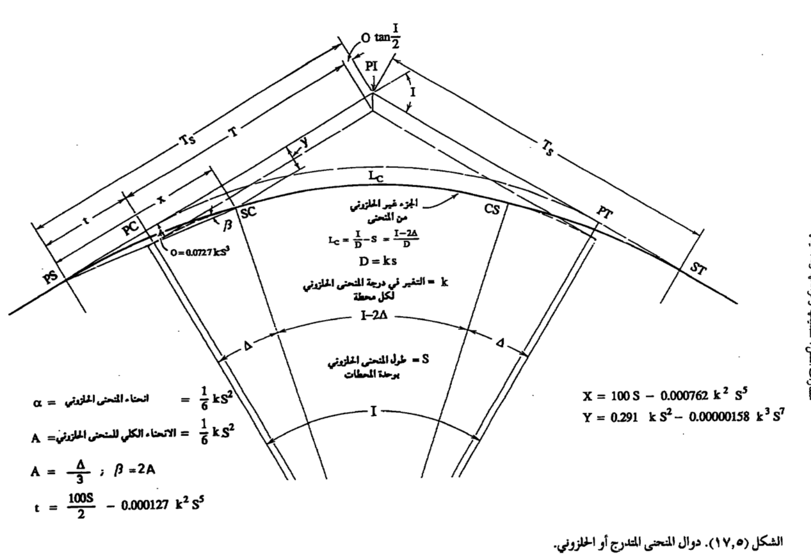
$$S = \frac{D}{K}$$

حيث إن D هي درجة المنحنى و S هي، مرة أخرى، طول المنحنى الحلزوني مقاسًا بالمحطات. فبمعرفة كل من قيمة K ودرجة المنحنى، يمكن حساب طول المنحنى الحلزوني. وفي الغالب، يُحدّد طول المنحنى الحلزوني (L_s) أولاً ثم تحسب قيمة K لاستخدامها في توقيع المنحنى.

ويمكن حساب قيمة L_s بناء على معدل إدخال التعلية الجانبية في المنحنى. ففي الشكل (١٧,٦)، يكون طول المنحنى الحلزوني $(L_s = v\,t)$ و$t' = (L_s/v)$ حيث إن (v) هي السرعة بالقدم/ ثانية و(t) هي الزمن اللازم لقطع المسافة (L_s) مقاسًا بالثواني. وخلال الزمن نفسه (t)، ترتفع عجلات المركبة مسافة (e) والتي تساوي التعلية الجانبية بحيث إن $(e - v't)$ أو $(t = e/v')$. وبما أن الزمن (t) هو نفسه في الحالتين، فإن $(L_s/v = e/v')$ أو $(L_s = (1/v')\,e\,v)$.

ويمكن استخدام عدد من معدلات إدخال التعلية الجانبية مثل $\frac{1}{4}$١ بوصة في الثانية و$\frac{1}{6}$١ بوصة في الثانية (وهي الموصى بها بوساطة رابطة مهندسي السكك الحديدية الأمريكية) و$\frac{1}{8}$١ بوصة في الثانية. وبتغيير وحدات (V) إلى ميل/ ساعة واستعمال المعدلات السابقة مع إجراء التعديلات المناسبة للوحدات، نحصل على:

$$L_s = 1.17\,eV \quad \text{(المعدل إدخال } 1\tfrac{1}{4} \text{ بوصة في الثانية)}$$

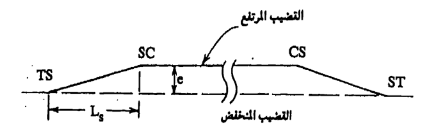


الشكل (١٧,٥). دوال المنحنى المتدرج أو الحلزوني.

(From *Railroad Engineering,* Vol. I, by W.W. Hay, 1953, Figure 5-2, p. 49.) (Courtesy of Wiley, New York.)

$L_s = 1.26\ eV$ (لمعدل إدخال $\frac{1}{6}$ ١ بوصة في الثانية)

$L_s = 1.301\ eV$ (لمعدل إدخال $\frac{1}{8}$ ١ بوصة في الثانية)



الشكل (١٧,٦). طول المنحنى الحلزوني.

ويوصى باستخدام القيمة الأصغر للخطوط المنخفضة السرعة (٥٠ ميلاً/ ساعة أو أقل)، والقيم الوسطية مناسبة للسرعات حتى ٧٩ ميلاً / ساعة، في حين أن القيمة الأكبر مرغوب فيها في السرعات التي تزيد على ٧٩ ميلاً / ساعة.

وفي الطرق، ترتبط قيمة (K) بمعدل الزيادة في التسارع الجاذب نحو المركز (C) والتي غالبًا ما تأخذ القيمة (٢). ومن هذه العلاقة، نجد أن:

$$L_{s(\min)} = 0.00055\ V^3D/C$$

$$K_{\max} = 173,000\ C/V^3$$

وقد وضعت الرابطة الأمريكية للمسؤولين الحكوميين للطرق العامة والنقل (AASHTO) حداً أدنى لمواصفات منحنيات التدرج بناء على السرعات التصميمية (الجدول ١٧,٢).

مسافة الرؤية الأفقية Horizontal Sight Distance. يجب توافر مسافة رؤية أفقية كافية بحيث يستطيع السائق الذي يقود مركبته بالسرعة التصميمية أن يقف بسلام قبل أن يصل إلى أي عائق أمامه في الطريق. ويفترض هنا أن العائق وعين السائق يكونان بمحاذاة محور الطريق. كما يفترض، أيضًا، أن عين السائق ترتفع عن سطح الرصف بمسافة ٣,٧٥ قدم (١,١٤ متر) وأن ارتفاع العائق هو ٠,٥ قدم (٠,١٥ مترا).[٤]

(٤) Transportation and Traffic Engineering Handbook, Institute of Traffic Engineers, John Baerwald, Editor, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1976, p. 613.

الجدول (١٧,٢): المواصفات الدنيا لمنحنيات التدرج.[أ]

السرعة التصميمية					
(ميل/ ساعة)	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠	٧٠
(كم/ ساعة)	٤٨	٦٤	٨٠	٩٦	١١٢
درجة المنحنى الدنيا التي تتطلب منحنى حلزونياً	٣°٣٠'	٢°٠٠'	١°٠٠'	١°٠٠'	١°٠٠'
الطول الأدنى للمنحنى الحلزوني والتعلية الجانبية					
مقاسا بالأقدام	١٠٠	١٢٠	١٥٠	١٧٥	٢٠٠
مقاسا بالأمتار	٣٠,٤٨	٣٦,٥٨	٤٥,٧٢	٥٣,٣٤	٦٠,٩٦

(أ) A Policy on Geometric Design of Rural Highways, Association of American State Highway and Transportation Officals, Washington, D.C., 1964, p. 171, Table III–10.

وكما سبق أن شرحنا في الفصل الخامس، فإن مسافة الوقوف (L_s) هي مجموع المسافة التي تقطعها المركبة خلال الزمن الذي يستغرقه السائق لإدراك وجود خطر واتخاذ قرار بالوقوف والاستعداد للبدء بعملية الكبح (L_r) زائدًا المسافة التي تقطعها المركبة خلال عملية الكبح نفسها (L_b)، أي:

$$L_s = L_r + L_b$$

حيث إن:

(للسرعة V_i ميل/ ساعة) (بالقدم) $L_r = 1.47\ V_i t_r$

(للسرعة V_i كم/ ساعة) (بالمتر) $L_r = 0.278\ V_i t_r$

وأيضًا:

(للسرعة V_i ميل/ ساعة) (بالقدم) $L_b = V_i^2 / 30(f \pm g)$

(للسرعة V_i كم/ ساعة) (بالمتر) $L_b = V_i^2 / 255(f \pm g)$

حيث إن:

V_i = السرعة الابتدائية بالميل/ ساعة (أو كم/ ساعة).

t_r = زمن إدراك وردة فعل السائق الذي يؤخذ عادة كـ ٢,٥ ثانية.

f = معامل الاحتكاك وتتراوح قيمته بين ٠,٤٠ و ٠,٢٧ للرصف المبتل متناقصة مع السرعة.[٥]

(٥) A Policy on Design of Urban Highways and Arterial Streets, American Association of State Transportation and Highway Officals, 1973, p. 136.

g = النسبة المئوية للميل مقسومًا على ١٠٠ .

وعند المنعطفات، يجب أن يكون خط نظر السائق خاليًا من العوائق في المسافة الواقعة بين سهم القوس (M في الشكل ١ ,١٧) وخط النظر، أي مسافة m. انظر الشكل (١٧,٧). ومن العلاقات الرياضية للمنحنيات الدائرية البسيطة:

$$m = R \operatorname{Vers}\left(I/2\right)$$

أو

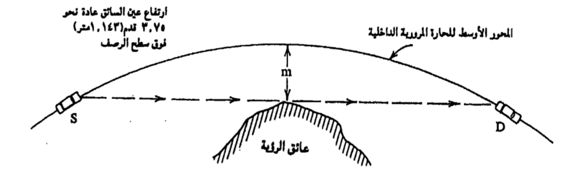
$$m = R\left(1 - \cos I/2\right)$$

وأيضًا:

$$m = 0.125\ (SD)^2/R$$

حيث إن m هي سهم القوس للوتر الطويل وهو خط النظر (SD). وإذا كان طول المنحنى حتى عائق الطريق هو (S) مقاسًا بالمحطات (١٠٠ قدم)، وبالتعبير عن (R) بدلالة (D)، نحصل على:

$$m = \left(5730/D\right)\ V_{ers}\left[(S)(D)/200\right]$$



الشكل (١٧,٧). مسافة الرؤية الأفقية.

وتوصي الرابطة الأمريكية للمسؤولين الحكوميين للطرق العامة والنقل (AASHTO) باستخدام مسافات الوقوف التالية: ٢٠٠ قدم عند سرعة ٣٠ ميلاً/ ساعة، ٢٧٥ قدم عند ٤٠ ميلاً/ ساعة، ٣٥٠ قدماً عند ٥٠ ميلاً/ ساعة، ٤٧٥ قدم عند ٦٠ ميلاً/ ساعة، و٦٠٠ قدماً عند ٧٠ ميلاً/ ساعة.[٦]

(٦) A Policy on Geometric Design of Rural Highways, Association of American State Highway and Transportation Officals, Washington, D. C., 1965, Figure III-13, p.188 .

مسافة الرؤية للتجاوز Passing Sight Distance. يجب توافر مسافة رؤية كافية في الطرق المكونة من حارتين مروريتين، فقط، واحدة في كل اتجاه، لكي تستطيع مركبة ما أن تتجاوز مركبة أخرى وتعود إلى حارتها المرورية قبل أن تتقابل مع المركبة المقابلة في الاتجاه المعاكس والتي تظهر، فقط، بعد البدء في عملية التجاوز. ولضمان السلامة والتدفق المروري الجيد يجب تحقيق إمكانية القيام بعملية التجاوز على أقصى طول ممكن من الطريق ذي الحارتين المروريتين.

وتتكون مسافة الرؤية من أربعة عناصر للمسافة هي:[٧]

١ - مسافة الإدراك وردة فعل السائق (d_r) والتي يقوم سائق السيارة المتجاوزة خلالها بإدراك وجود فرصة للتجاوز ويبدأ في عملية التجاوز. وتتكون هذه المسافة (d_r) من عنصرين هما: ($v_r t_r$) زائدًا مسافة التسارع (بما في ذلك الدخول في الحارة المرورية المعاكسة) والتي يمكن حسابها من علم الطبيعة (الفيزياء) بالمعادلة $\left[\frac{1}{2} a t_r^2\right]$

حيث إن (v_r) هي السرعة الابتدائية و (t_r) هو زمن الإدراك وردة فعل السائق وتتراوح قيمته عادة بين ٣ و ٤ ثوان، وتصل قيمة عجلة التسارع (a) إلى القيمة التقريبية ٤,١ قدم/ ثانية مربعة.

٢ - المسافة في حارة التجاوز ($d_p - v_2\ t_2$) حيث إن (v_2) هي متوسط سرعة السيارة عند التجاوز و (t_2) هو الزمن بالثواني الذي تقضيه السيارة في الحارة المرورية اليسرى ويتراوح بين ٩ و ١١ ثانية.

٣ - المسافة للعودة إلى الحارة المرورية الأصلية (d_c) وتساوي حاصل ضرب زمن الإخلاء (حوالي ٤ ثوان) في متوسط السرعة التي تقترب فيها كل من المركبتين من الأخرى، أي $\left(d_c = {t_3(v_3 + v_4)}/{2} \right)$ حيث إن (v_3) هي سرعة السيارة التي تقوم بالتجاوز (بالقدم/ ثانية) و(v_4) هي سرعة السيارة المقابلة (بالقدم/ ثانية).

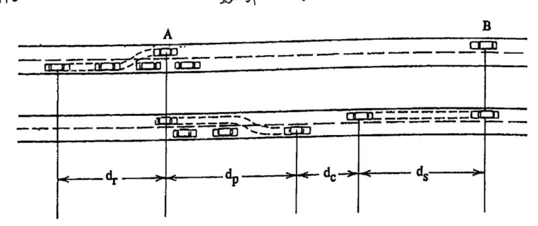
٤ - المسافة التي قطعتها السيارة المعاكسة من لحظة إدراك السائق الذي يقوم بالتجاوز بوجودها حتى انتهاء مناورة التجاوز بنجاح زائدًا مسافة إخلاء آمنة تتراوح بين ١٠٠ و٣٠٠ قدم (٣٠,٤ إلى ٩١,٤٤ متر)، حسب السرعة؛ أو بمعنى آخر ($d_s = v_4\ t_4$) حيث إن (v_4) هي، مرة أخرى، سرعة السيارة المقابلة و(t_4) هو الزمن اللازم لإكمال عملية التجاوز.

وتساوي مسافة الرؤية للتجاوز الكلية حاصل جمع المسافات الأربع السابقة الذكر. انظر الشكل (١٧,٨).

وقد يكون من الصعب تقويم المتغيرات العديدة من سرعة وعجلة تسارع وزمن الإدراك وردة فعل السائق لحساب مسافة الرؤية للتجاوز. ولذا، يمكن اللجوء للقيم الموصى بها للأغراض التصميمية كما هو مبين في الجدول (١٧,٣).

---

(٧) المرجع السابق نفسه، ص ١٤٢-١٤٥.



الشكل (١٧,٨). مسافة الرؤية للتجاوز.

(After AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Rural Highways*, 1965, Figure III-2, p. 143.)

الجدول (١٧,٣): القيم الدنيا لمسافة الرؤية للتجاوز.(أ)

السرعة التصميمية		القيمة الدنيا لمسافة الرؤية للتجاوز	
ميل/ساعة	كم/ساعة	قدم	متر
٣٠	٤٨	١١٠٠	٣٣٥
٤٠	٦٤	١٥٠٠	٤٥٧
٥٠	٨٠	١٨٠٠	٥٤٩
٦٠	٩٧	٢١٠٠	٦٤٠
٦٥	١٠٥	٢٣٠٠	٧٠١
٧٠	١١٣	٢٥٠٠	٧٦٢
٧٥	١٢١	٢٦٠٠	٧٩٣
٨٠	١٢٩	٢٧٠٠	٨٢٣

(أ) A Policy on Design of Urban Highways and Arterial Streets, American Association of Satate Transportation and Highway Officials, Washington, D.C., 1973, pp. 268–276.

الطريق Roadway. من المعتاد استخدام حارات مرورية بعرض ١٢ قدماً (٣,٦٦ متر) للطرق السريعة والشريانية. ويمكن استخدام حارات بعرض ١١ قدما (٣,٣٥ متر) في الطرق التجميعية والمحلية، بينما يمكن استخدام عرض ١٠ أقدام (٣,٠٥ متر) في حارات الطرق ذات الكثافة المرورية المنخفضة جداً.

ويعتمد عدد الحارات في الطريق على مستوى الخدمة المرغوب فيها (السرعة والحجم المروري). انظر الفصل الثامن. وعادة ما يبنى التصميم على أحجام المرور خلال ساعات اليوم (السّاعيّة) (Design Hourly Volume, DHV)

بحيث يتم التصميم على أساس الساعة التي تأتي في المرتبة الثلاثين من حيث حجم الحركة المرورية في الساعة خلال السنة. ويمكن أن يبنى تصميم الطرق السريعة والطرق الرئيسة المتعددة الحارات على الأحجام المرورية الساعية التصميمية في الاتجاه الواحد (Directional Design Hourly Volume, DDHV)، وأيضًا، يستخدم أحيانًا معدل المرور اليومي (Average Dialy Volume, ADV).

كما تضاف أحيانًا حارات مرورية جانبية إضافية بجوار الحارات المرورية الأساسية لاستخدامها في حالات تغيير السرعات عند مداخل الطرق ومخارجها، ولوقوف المركبات، وفي المناطق الجبلية لاستخدامها بوساطة المركبات الثقيلة في التسلق والصعود، وللانعطاف والانتظار في صفوف للانعطاف.

ويوفّر الوصول للطرق، عادة، عن طريق نزع ملكيات حرم الطريق. كما يمكن توفير ذلك، أيضًا، بإنشاء طرق خدمة جانبية تمكن من خدمة استعمالات الأراضي المجاورة دون إعاقة حركة المرور العابر. ويتراوح عرض حرم الطريق بين ٥٠ قدماً (١٥,٢٤ متر) للطرق المحلية و ٣٥٠ قدماً (١٠٦,٦٧ متر) أو أكثر للطرق المتعددة الحارات والتي تحتوي على طرق خدمة جانبية. ويتم الوصول إلى الطرق السريعة عن طريق محولات (أو تقاطعات علوية منفصلة) سنناقشها لاحقًا.

توجيه المرور وتنظيمه عند التقاطعات Channelization. تستخدم عدة أساليب لتوجيه المرور وتنظيمه عند التقاطعات، وذلك لتحسين مستوى السلامة وتسهيل انسياب التدفق المروري عند تقاطعات الطرق. ويتم ذلك بفصل المرور المتدفق إلى ممرات محددة بالعلامات أو الجزر. وهناك أغراض متعددة لتوجيه المرور وتنظيمه عند التقاطعات تشمل:

١ - تقليل عدد القرارات التي يجب أن يتخذها السائق عند مروره عبر تقاطع للطرق. ويتم حصر السائق في مسار محدد وواضح يلزمه سلوكه وبالتالي، يُقلّل تردد السائق وارتباكه.

٢ - إبلاغ السائقين الآخرين عن الاتجاهات التي تؤدي إليها الحارات المختلفة مما يساعدهم على تلافي الارتباك والوقوع في الاعتقاد الخاطئ أن جميع الحارات لها الوجهة نفسها.

٣ - يمكن تسهيل حركة الانعطاف لليمين أو لليسار حسب الرغبة أو منعها.

٤ - توفير جزر وسط الطريق لضمان سلامة المشاة عند عبور الطريق، وتوفير حارات خاصة بالانعطاف واحتواء السيارات التي تقوم بعملية الانعطاف.

٥ - يمكن التحكم في زوايا تقاطع خطوط الحركة المرورية حيث إن السيارات التي تقترب من بعضها بزاوية منبسطة تكون أقل عرضة للوقوع في حوادث اصطدام في التقاطعات مقارنة بالزوايا القائمة (٩٠ درجة).

وقد وُظّف عديد من الوسائل لتوجيه المرور وتنظيمه عند التقاطعات:

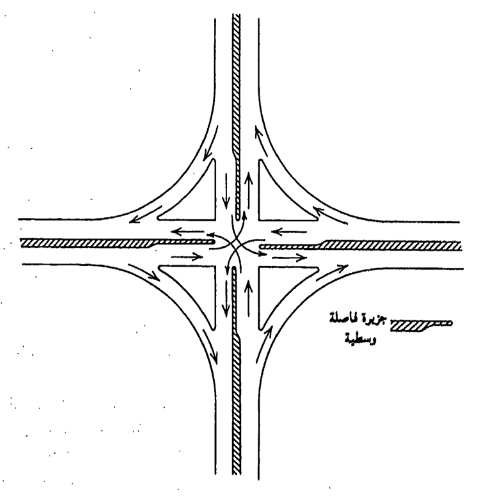
١ - استخدام الخطوط والأسهم الأرضية المدهونة. وهذه منخفضة التكاليف وسريعة الإعداد، إلا أنه من السهل على السائقين تجاهلها كما أنها تبلى مع الوقت ويمكن أن تختفي بفعل الأتربة والثلوج.

٢ - يمكن استخدام أكياس مملوءة بالرمل مؤقتاً لتحديد الحارات المرورية والمناطق المحظورة. ونظرًا لإنخفاض تكلفة الأكياس وسهولة نقلها، فإنها مفيدة عند الرغبة في تجربة عديد من التنظيمات الممكنة.

٣ - أحيانًا، تستخدم حواجز خرسانية متنقلة بدلاً من الأكياس الرملية.

٤ - استخدام فواصل وسطية بين الحارات المرورية مثبتة في جسم الطريق وبسمك قليل بحيث يمكن للسيارات السير فوقها عند الحاجة، ويفضل أن تكون مزودة بأزرار عاكسة (عيون القطط). وهذه تستعمل استعمالاً خاصاً للفصل بين الحركة في اتجاهين متعاكسين.

٥ - استخدام وسائل ثابتة ودائمة لتنظيم حركة المرور، وهي أرصفة أو جزر مرتفعة تكون، عادة، من الخرسانة أو مادة شبيهة ومزودة بإشارات متقطعة الإضاءة عند الانعطاف. كما يمكن اعتبار الإشارات الضوئية وتقسيم الطريق إلى عدة حارات مرورية نوعاً من التنظيم للمرور. ويبين الشكل (٩ , ١٧) مثالاً لأحد التصاميم الممكنة عند التقاطعات.



الشكل (١٧,٩). أمثلة على فصل الحركة في الاتجاهات المختلفة في التقاطع وتنظيمها.

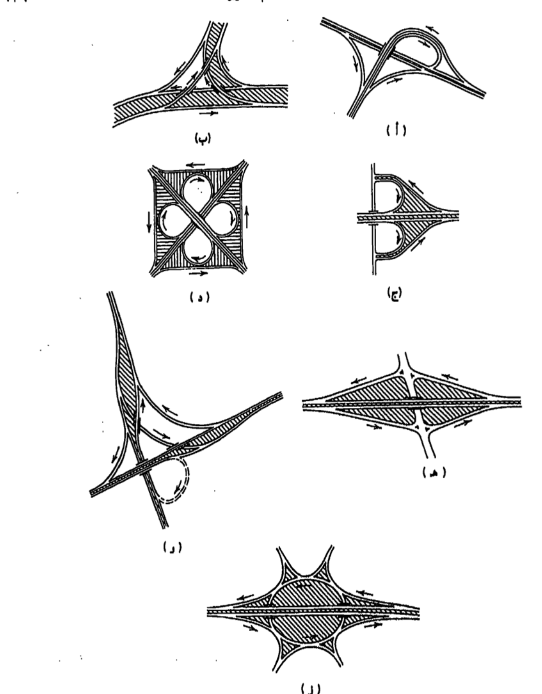
التقاطعات المنفصلة (العلوية) Grade Separations. من أهم مزايا الطرق الحرة السريعة وغيرها من الطرق التي يتم التحكم في مداخلها ومخارجها توفيرها لحركة مرورية حرة ومستمرة دون وجود تداخل جانبي مع الطرق التي تتقاطع معها. ولتحقيق ذلك، يجب فصل الطريق السريع أو الحر الحركة عن الطرق المتقاطعة معه بوساطة التقاطعات المنفصلة أو العلوية، ولا يسمح أبدًا باستخدام تقاطعات مستوية في الطرق السريعة. وعادة ما يقع الطريق الأقل أهمية (أو الثانوي) على جسر فوق الطريق السريع، وإذا كان من اللازم توفير سهولة الاتصال والانتقال بين الطريقين، فإن ذلك يتم باستخدام النوع المناسب من الممرات أو المنحدرات الموصلة. فالممرات البسيطة المائلة توفر سهولة الوصول في اتجاه واحد من طريق آخر مواز. وإذا كانت هناك حاجة للوصول إلى الحارات المرورية في الاتجاه المعاكس للطريق فمن الضروري إنشاء جسر فوق الطريق الذي في المستوى الأسفل مما يكّون ما يعرف بالتقاطع العلوي المعيني أو الماسّي كما في الشكل (١٠ ,١٧ هـ). ويتم التحكم المروري عند تقاطع الممرات مع الطريق الفرعي عند الجسر باستخدام علامات «قف» مع تخصيص حارة مرورية إضافية على المنحدر لمن يريد الانعطاف لليسار. ويمتاز التقاطع المعيني بالصغر النسبي لمساحة الأرض التي يتطلبها، إلا أن وجود علامات «قف» قد يكون سببًا في حدوث تأخير للسيارات التي على الممر الخارج من الطريق السريع وازدحامها إذا كان هناك حركة مرور كثيفة على الطريق الثانوي الذي يتقاطع معه.

ومن الأنواع الأخرى للتقاطعات العلوية (أو المحولات) التقاطع الذي على شكل جزء من ورقة البرسيم مع منحدرات في رُبعين اثنين، فقط، من الورقة كما يظهر في الشكل (١٠ ,١٧ ج). وهنا يجب، أيضًا، وضع علامات «قف» عند تقاطع المنحدر مع الطريق الفرعي مما قد يسبب حدوث تأخير لحركة المرور على المنحدر.

ويعطي التقاطع المنفصل الذي على شكل ورقة برسيم كاملة مرونة أكبر كما يظهر من الشكل (١٠ ,١٧د)، إلا أنه يستهلك مساحة كبيرة من الأرض وخاصة إذا كانت منحدرات الوصول مصممة لاستيعاب السرعات العالية. ويمكن تحقيق سرعة ٢٥ ميلاً/ ساعة (٤٠ كم/ ساعة) باستخدام منحنيات لا تزيد درجات انحنائها على ٤٥ درجة. وعلى أية حال، يجب أن يكون طول المنحدر كافيًا للتغلب على الفرق في المنسوب أو الارتفاع الرأسي المبني على توفير خلوص رأسي بين سطح رصف الطريق السفلي والسطح السفلي للجسر قدره ١٦ قدمًا (٤,٨٨ متر)، في الأقل.

وإذا كانت زاوية التقاطع بين الطريقين الرئيس والثانوي تختلف عن القائمة، فقد يتطلب ذلك نوعًا خاصًا من التقاطعات أكثر تعقيدًا. ويعد التقاطع الذي على شكل حرف (Y) مثالاً لذلك كما يظهر في الشكل (١٧-١٠ ب).

وفي أي من التصميمات السابقة، يجب أن يكون الدخول أو الخروج من الطريق الرئيس دائمًا من الجانب الأيمن وليس من الأيسر. وعندما يكون هناك فوارق كبيرة بين سرعة الطرق وسرعة الممر أو المنحدر، يجب وضع حارات مرورية للتسارع والتباطؤ بجوار الحارة المرورية الخارجية للطريق السريع كي تتم عمليات التسارع والتباطؤ خارج خط التدفق الحر للمرور. وهذه الحارات الإضافية تكون بعرض ثابت لمعظم امتدادها وتضيق تدريجيًا حتى تتلاشى عند التقائها مع الطريق السريع، ويسمى هذا بالجزء المتدرج. وتوصي الرابطة الأمريكية للمسؤولين



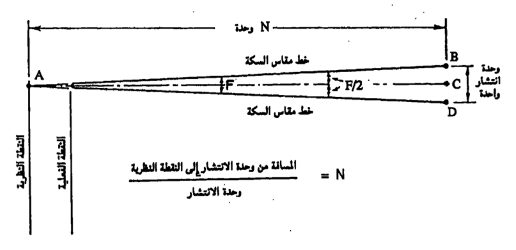
(أ) تقاطع بوقي أو على شكل حرف (T) (ب) تقاطع على شكل حرف (Y) (جـ) تقاطع ورقة برسيم جزئي (الممرات في ربعين، فقط)
(د) تقاطع ورقة برسيم كامل (هـ) تقاطع معيني أو ماسي (و) تقاطع اتجاهي (ز) تقاطع دائري

الشكل (١٧,١٠). تقاطعات علوية منفصلة (محولات).

(Courtesy of The American Association of State Highway and Transportation Officials, *A Policy on Geometric Design of Rural Highways*, 1965, Figure IX-1, p. 494.)

الحكوميين للطرق العامة والنقل (AASHTO) باستخدام أطوال للجزء المتدرج من الحارة الإضافية للتسارع تتراوح بين ١٧٥ و ٢٥٠ قدمًا (٥٣,٣٤ إلى ٧٦,٢٠ متر) للطرق الحرة السريعة التي تتراوح السرعة عليها بين ٤٠ و ٧٠ ميلاً/ ساعة (٦٤ و ١١٢,٦ كم/ ساعة). وللمنحدرات التي سرعتها ٣٠ ميلاً/ ساعة، فإن الأطوال الكلية الموصى بها للحارات الإضافية للتسارع هي ٢٥٠ و٥٠٠ و٨٠٠ و١٠٠٠ قدم (٧٦ و١٥٢ و٢٤٤ و٣٠٥ أمتار) للسرعات المقابلة التالية ٤٠ و٥٠ و٦٠ و٧٠ ميلاً/ ساعة (٦٤ و٨١ و٩٧ و١١٣ كم/ ساعة) على التوالي. أما في الحارات الإضافية للتباطؤ فيستخدم طول الجزء المتدرج نفسه ولكن الطول الكلي للحارة السرعات أنفسها أعلاه هو ١٧٥ و٢٥٠ و٣٥٠ و٤٠٠ قدم (٥٣ و٧٦ و١٠٧ و١٢٢ متر) على التوالي.

تقاطعات السكك الحديدية Railroad Intersection. تتقاطع خطوط السكك الحديدية (أو تتفرع) بوساطة تفريعة مكونة من حربة (Frog) تُكّون فجوة تسمح بمرور شفة العجلات عبر خطوط القضبان المتقاطعة معها، ومن مفصلة مفردة ترشد العجلات المشفهة إلى مسارها المطلوب، ومن القضبان التي تقع بين الحربة والمفصلة المفردة. ويعتمد مقدار الانحراف بين السكتين عند التقاطع على زاوية الحربة (*F*) إلا أن من المتعارف عليه تمييز الحربة بدلالة رقم الحربة (*N*). ففي الشكل (١١ ,١٧)، نرى أن رقم الحربة (*N*) هو النسبة بين وحدة ا لانتشار والمسافة إلى نقطة الحربة التي تقاس منها وحدة الانتشار. ولما كانت حافة تقاطع القضيبين عند النقطة النظرية هذه تجعله حادًا غير قادر على



الشكل (١٧,١١). زاوية تقاطع الحربة مقابل رقم تقاطع الحربة.

تحمل صدمات العجلات فإنه يُرحّل إلى الوراء لمسافة تكفل لهذا السن سمكًا مناسبًا ويطلق عليه السن العملي للتقاطع أو النقطة العملية للتقاطع. ويعمل جناحا التقاطع أو القضيبان الحاميان الموضوعان مقابل الحربة عبر الفجوتين المعدتين لمرور شفة العجلات على تقليل الصدمات على الحربة وتوجيه العجلات. ويطلق على جزء تقاطع الحربة القريب من المفصلة اسم سن الحربة والآخر البعيد كعب الحربة. ويتغير بعدا سن الحربة وكعبها عن نقطة الحربة بتغير

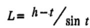
زاوية الحربة، ويمكن الحصول عليهما من جداول بيانات التفريعات أو من المصنع. فالتفريعة رقم ١٠، مثلاً، تكون مسافة الكعب فيها هي ٦ أقدم و٥ بوصات (٩٨, ١ متر) ومسافة السن هي ١٠ أقدام وبوصة واحدة (٠٧, ٣ متر).

والأرقام المقابلة للتفريعة رقم ٢٠ هي ١١ قدماً و $\frac{٧}{٨}$ بوصة (٣٧٥, ٣ متر) و١٩ قدما و١٠ بوصات (٠٤٥, ٦ متر) على التوالي. ويبين الشكل (١١, ١٧) أن العلاقة بين زاوية الحربة ورقم الحربة هي:

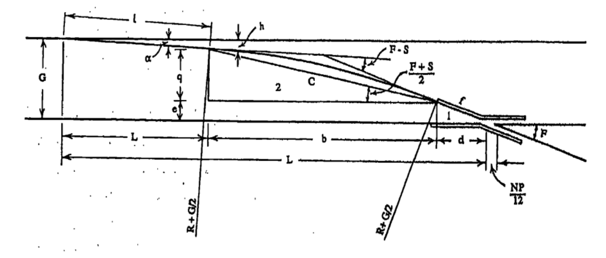
$$N = \frac{1}{2}\ Cot\left(F/2\right)$$

أو $N = \frac{١}{٢}$ ظتا $\left(\frac{F}{٢}\right)$. وهي النسبة بين طول قاعدة المثلث المتساوي الساقين الذي يحصر الزاوية (*F*) وبين ارتفاع المثلث.

وتؤخذ زاوية المفصلة (*S*) عادة لتساوي تقريبًا ربع زاوية الحربة، أي $\left[S = \frac{F}{4}\right]$ وبمعرفة زاوية المفصلة والمسافة بين إحدى السكتين المتقاطعتين والسكة الأخرى عند كعب المفصلة الذي يؤخذ عادة كـ $\frac{١}{٤}$ ٦ بوصة (٨٨, ١٥ سم) كما في الشكل (١٢, ١٧)، فإن طول المفصلة يمكن حسابه كما يلي:



$$L = {h-t}/{\sin t}$$



الشكل (١٢, ١٧). مفصل تفريعة سكة حديدية.

(From *Railroad Engineering*, Vol. I, by W.W. Hay, Wiley, New York, 1953, Figure 27.8, p. 438.)

حيث إن :

L = طول المفصلة بالقدم

h = انتشار الكعب بالبوصة ، عادة ، يساوي $\frac{١}{٤}$ ٦ بوصة (١٥,٨٨ سم)

t = سُمْك الإبرة عند نقطة المفتاح أو المفصلة ، ويساوي مابين $\frac{١}{٨}$ و $\frac{١}{٤}$ بوصة (٠,٣٢ إلى ٠.٦٤ سم)

كما يتم ، أيضًا ، تعريف التفريعات وتركيبها على أساس المسافة من نقطة المفصلة إلى النقطة العملية للحربة . ويمكن حساب نصف قطر المنحنى الذي يصل كعب المفصلة مع سن الحربة حسب المعادلة :

$$R = \frac{C}{2\sin \frac{(F-S)}{2}} - \frac{G}{2}$$

حيث إن :

R = نصف قطر المنحنى الذي يصل بين كعب المفصلة وسن الحربة عند محور السكة بالأقدام .

F = زاوية الحربة

S = زاوية المفصلة

C = الوتر الطويل للمنحنى الموصل بين النقطتين

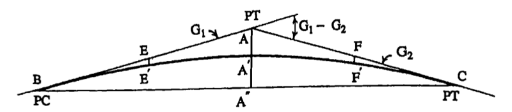
G = اتساع السكة بين رؤوس القضبان الداخلية ويأخذ قيمة ٤,٧٠٨ قدم (١,٤٤ متر) للاتساع القياسي في الولايات المتحدة .

وعندما تتقاطع السكك الحديدية على مستوى الأرض الطبيعية نفسها تستخدم أربعة تقاطعات حربة قائمة الزوايا . ولحالات التقاطع بزاويا أخرى ، تستخدم حربتان نهائيتان بزوايا تساوي درجة الانحراف وحربتان جانبيتان لها زوايا مساندة للحربتين النهائيتين .

القطاع الطولي Profile . القطاع الطولي لخط معين هو موقع الخط في المستوى الرأسي . وهو يتكون ، أيضًا ، من خطوط مستقيمة (مماسات مائلة) تصل بينها منحنيات رأسية . وعادة ما تقاس درجة الميل كنسبة مئوية بين الارتفاع بالأمتار لكل ١٠٠ متر من المسافة الأفقية .

وتشكل المنحنيات الرأسية مرحلة انتقالية من ميل معين لآخر ، وتوفر الانتقال التدريجي والسهل من خط مستقيم إلى آخر يليه . ويستعمل لهذا الغرض منحنى رأسي من نوع القطع المكافئ الذي يمتاز بعدة خصائص منها (انظر الشكل ١٣ , ١٧) :

١ - الخط المرسوم من منتصف الوتر الطويل للمنحنى إلى نقطة تقاطع المماسين يمر في منتصف المنحنى كما أن المنحنى ينصفه .



من خواص القطع المكافئ، $A''A' = AA'$

يكافئ $AA' : EE'$ ، $(BE)^2 : (BA)^2$

$A'C = BA'$

r = معدل التغير في الميل لكل محطة

$$\frac{G_1 - G_2}{L} = r$$

الشكل (١٣, ١٧). خواص منحنى القطع المكافئ.

٢ - أطوال الأعمدة المأخوذة على المماس تتناسب مع مربعات المسافات المأخوذة أيضًا، على المماس من نقطة بداية المنحنى.

ويعتمد طول المنحنى على معدل التغير في درجة الميل لكل محطة (١٠٠ متر أو ١٠٠ قدم) للتدرج من مماس (خط ميل) إلى مماس يليه. ويعبر عن ذلك رياضيًا بالعلاقة:

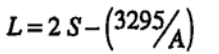
$$L = (G_1 - G_2)/r$$

حيث إن (r) هو معدل التغير مقاسًا بالمتر لكل محطة (١٠٠ متر) أو بالقدم لكل محطة (١٠٠ قدم)، و(G_1) و(G_2) هما درجتا ميل المماسين المتقاطعين مع استخدام الإشارة الجبرية المناسبة للدلالة على ما إذا كان المماس صاعدًا (+) أو نازلاً (−)، و(L) هو طول المنحنى مقاسًا بالمحطات. وتوصي رابطة السكك الحديدية الأمريكية باستخدام قيمة r = ٠٥ , ٠ قدم لكل (١٠٠ قدم) من المنحنيات الرأسية القاعية (Sag) وأن لا تزيد قيمتها على ١٠ , ٠ قدم لكل محطة (١٠٠ قدم) في المنحنيات الرأسية القمية (Summit)، وذلك لتوفير تغير سلس في الفراغات بين عربات القطار. أما للسكك الحديدية الثانوية البطيئة السرعة، فمن الممكن استخدام قيم تبلغ ضعف القيم السابقة.[٨] كما أن هذه القيم توفر، أيضًا، مسافة رؤية كافية لسائق القطار عند اجتيازه لمنحنيات قمة فوق التلال.

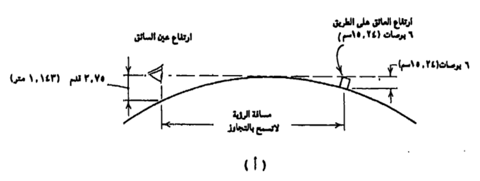
وتمثل مسافة الرؤية عاملاً مهمًا للسلامة في تصميم الطرق. وعمومًا، يوصى باستخدام منحنيات رأسية بطول يكفي لتوفير مسافة رؤية قدرها ١٠٠٠ قدم (٣٠٤,٨ متر)، وذلك في الطرق السريعة الحديثة. وتبنى حسابات مسافة الرؤية الكافية على أساس فرض أن عين السائق ترتفع فوق سطح الرصف مسافة ٣,٧٥ قدم أو

(٨) Manual of Railway Engineering (Fixed Plant), 1953 edition, American Railway Engineering Association, Chicago, Illinois, p.5-3-13.

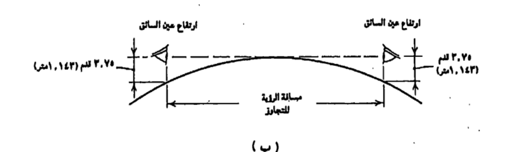
١٤٣ , ١ متر (ولكنها قد ترتفع حتى ٦ أقدام أو ٨٣٠ , ١ متر للشاحنات الضخمة) وأن السائق يجب أن يتمكن من رؤية حجر أو عائق على الطريق ارتفاعه ٦ بوصات (٢٤ , ١٥ سم) في الطرف البعيد من مدى الرؤية . انظر الشكل (١٤ , ١٧) . وبناء على توصيات الرابطة الأمريكية للمسؤولين الحكوميين للطرق العامة والنقل، (AASHTO) فلو كانت (A) ترمز للفرق الجبري بين درجتي ميل المماسين المتقاطعين كنسبة مئوية ، و(S) تساوي مسافة الرؤية بالقدم، و(L) هو طول المنحنى الرأسي بالقدم، فإنه عندما تكون (S) أكبر من (L) فإن : [٩]



$$L = 2S - \left(\frac{3295}{A}\right)$$



(أ)



(ب)

الشكل (١٤ ,١٧). مسافة الرؤية فوق قمة المنحنى الرأسي.

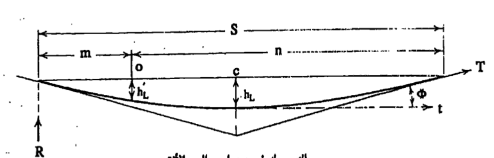
وعندما تكون (S) أقل من (L) فإن :

$$L = \frac{A S^2}{3295}$$

ويعتمد تصميم العربات الهوائية المعلقة على استخدام منحنى قطع مكافئ يأخذ الصيغة $\left[x = \frac{2c}{y^2}\right]$ وهي لمنحنى سلس يمثل تقريبًا الخط المضلع المفتوح الناتج من ثقل الأوزان المعلقة على مسافات متساوية على طول الوتر بين

(٩) A Policy on Geometric Design of Rural Highways, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D. C., 1965, p. 207.

نقاط الارتكاز. وفي حالة توزيع الأحمال على مسافات منتظمة، فإن انحناء السلك السميك الحامل للأوزان يكون من الناحية العملية هو الانحناء نفسه لسلك سميك محمل بانتظام بحيث تكون الأوزان لكل قدم طولي هي وزن السلك لكل قدم طولي، فقط، زائدًا الوزن المعادل لكل قدم طولي لحمل عربة واحدة مقسومًا على المسافة البينية للعربات بالقدم. وباستخدام هذا التقريب وأخذ العزوم حول النقطة الوسطى (c) للوتر المستوي بين نقطتي ارتكاز السلك الحامل (الشكل ١٥ و١٧)، فإنه يمكن الحصول على معادلات للانحناء مبنية على الجزء المحمل كالتالي:



الشكل (١٥, ١٧). سلك سميك للعربات الهوائية المعلقة.

$$h_L = S^2\left(L/_d + r\right)/8t$$

$$h'_L = \left(L/_d + r\right)mn/2t$$

حيث إن (h_L) هو مقدار الانحناء في منتصف السلك و(h'_L) هو انحناء السلك عند أي نقطة و(S) هو طول البحر بين برجي السلك و(L) هو وزن العربات المحملة التي تبعد عن بعضها بمسافة بينية قدرها (d) قدم و(r) هو وزن القدم الطولي من السلك السميك و(m) و(n) هي المسافات الأفقية إلى النقطة التي وجد فيها الانحناء و(t) هي قوة الشد عند النقطة الوسطى للسلك بالرطل. ويجب التأكد من أن قيمة انحناء السلك في تصميم العربات المعلقة لضمان أن العربات والسلك ستكون مرتفعة بقدر كاف لضمان عدم الارتطام مع أي عوائق أرضية بما في ذلك المنشآت التي من صنع البشر والأشجار وغيرها.

أسئلة للدراسة
QUESTIONS FOR STUDY

١ - ما الأغراض المحددة التي تخدمها عملية تصنيف: (أ) الطرق و(ب) الخطوط الحديدية؟

٢ - اشتق العلاقات الأساسية للمنحنى الأفقي البسيط، أي طول الجزء المستقيم (المماس) وطول الوتر الطويل للمنحنى، ودرجة المنحنى، وطول المنحنى.

٣ - ما مقدار التعلية الجانبية اللازمة لطريق بحارتين مروريتين (عرض الواحدة ١٢ قدماً) وينحني بدرجة ٣ درجات

وسرعته التشغيلية ٧٠ ميلاً / ساعة؟ ما قيمة معامل الاحتكاك الفعال؟

٤ - ما السرعة القصوى التي يمكن لقطار الوصول إليها على منحنى درجته ٤ درجات عندما يكون المنحنى مصممًا ليعطي تعلية جانبية متوازنة عند مرور قطارات الفحم المفردة بسرعة ٤٠ ميلا/ ساعة؟

٥ - باستخدام توصيات الرابطة الأمريكية للمسؤولين الحكوميين للطرق العامة والنقل (AASHTO) المتعلقة بمسافات الوقوف، ما مسافة الخلوص الدنيا اللازمة لعائق للرؤية لطريق سرعته ٦٠ ميلاً / ساعة ودرجة انحنائه ٤ درجات؟

٦ - ما الطول اللازم لمنحنى حلزوني انتقالي في سكة حديدية تنحني بمقدار درجتين وتصل السرعة القصوى عليها إلى ٧٩ ميلاً / ساعة؟ ما معدل التغير في درجة المنحنى المستخدم لتوقيع المنحنى على الطبيعة؟

٧ - ما طول المنحنى اللازم لتوفير مسافة رؤية رأسية قدرها ١٢٠٠ قدم عند قمة المنحنى الرأسي حيث يتقاطع مماس صاعد بميل ٢٪ مع مماس نازل (منحدر) بميل ١٪؟

٨ - ما الطول الإجمالي من نقطة الحلزون حتى نقطة الحلزون إلى مماس لطريق ينحني بدرجة ٣ درجات مصمم لسرعة ٦٠ ميلاً / ساعة وله زاوية تقاطع قدرها ٦٠ درجة؟

٩ - ما مساحة الأرض اللازمة لتقاطع ورقة برسيم يصل طريقين سريعين بحارتين مروريتين (عرض الواحدة ١٢ قدماً) في كل اتجاه وبينهما جزيرة وسطية عرضها ٣٠ قدمًا وأكتاف عرض الواحد ٦ أقدام مع استخدام سرعة تصميمية قدرها ٧٠ ميلاً / ساعة للطريق السريع و٣٠ ميلاً / ساعة كسرعة لمنحدر الوصول؟

١٠- حدد زاوية تقاطع الحربة لتفريعة سكة حديدية ذات الرقم ١٢ ، وحدد زاوية المفصلة ودرجة المنحنى الرابط بينهما والمسافة الأمامية عندما تكون مسافة سن الحربة ٧ أقدام و $\frac{1}{2}$ ٩ بوصة والطول الإجمالي لتقاطع الحربة ٢٠ قدمًا و ٤ بوصات .

١١- باستخدام التفريعة في السؤال السابق، كم ستكون المسافة الكلية من نقطة المفصلة إلى النقطة التي تصبح عندها سكة التفريعة موازية للسكة الرئيسية عندما تكون المسافة بين محوري السكتين ١٤ قدمًا، مفترضًا درجة منحنى العودة أو المنحنى الرابط تساوي أو تقل عنها في المنحنى الرابط ضمن حدود التفريعة؟

١٢- ما طول المنحدر اللازم لتسهيل الدخول إلى طريق سريع من شارع حضري مرتفع عنه إذا كانت درجة الميل ستبقى ثابتة عند ٤ ٪ ومنسوب سطح الشارع يرتفع ١٨ قدمًا فوق سطح الطريق السريع؟

قـــراءات مقترحـــة
SUGGESTED READINGS

1. A. M. Wellington, *The Economci Theory of the Location of Railways,* 1906 edition, Wiley, New Yourk.
2. "Economics of Railway Plant Location and Operation", *Manual for Railwy Engineering (Fixed Plant) of he A.R.E.A.,* 1976 edition, American Railway Engineering Association, Chicago, Illinois, Chapter 16 .
3. W. W. Hay, *Railroad Engineering,* Volume I, Wiley, New Yourk, 1953, Part I.

4. L. I. Hewes and C. H. Oglesby, *Highway Enineering,* Wiley, New York, 1963 Chapters 6 and 7, "Highway Surveys and Plans" and "Highway Design".
5. Highway and Bridge Surveys, *Journel of the Surveying and Mapping Division, Proceedings of the A.S.C.E.*
   Reconnaissance, Paper 1593, April 1958.
   Introduction to Bridge Surveys and Reconnaissance, Paper 1713, July 1958.
   Preliminary Surveys, Paper 1697, July 1958.
   Location Surveys, Paper 1698, July 1958.
   Preliminary Bridge Surveys, paper 1842, November 1958.
6. *A. Policy on Urban Highways and Arterial Streets,* American Association of State Transportation and Highway Officials, Washington, D. C., 1973.
7. *A Policy on Geometric Design of Rural Highways,* American Association of State Transportation and Highway Officials, Washington, D. C., 1965.
8. *Transportation and Traffic Engineering Handbook,* Institute of Traffic Engineers, John Baerwald, Editor, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1976.
9. George E. MacDonald, "Survey and Maps for Pipelines", Separate No. 393, January 1954, American Society of Civil Engineers, New York.
10. Ian McHarg, *Design with Nature,* Natural History Press, Garden City, New York, 1969.
11. G. W. Pickel, and C. C. Wiley, *Route Surveying,* 3rd edition, Wiley, New Yourk, 1949.

الملاحـــق

الملحق الأول: وحدات نقل نموذجية

الملحق الثاني: مثال توضيحي

الملحق الثالث: الطبعة الثالثة لدليل سعة الطرق ١٩٨٥م

الملحق الأول

وحدات نقل نموذجية
TYPICAL TRANSPORT UNITS

وحدة نموذجية للنقل بالسكك الحديدية (شكل ١، م١)

النوع : قاطرة ديزل-كهربائية
الخدمة : بضائع وركاب .
الطراز : SD-40-2 .
المصنّع : GMC - قسم المحركات الكهربائية .
التصنيف : C - C .
الطول الإجمالي : ٦٨ قدماً و١٠ بوصات .
العرض الإجمالي : ١٠ أقدام و$\frac{1}{8}$ ٣بوصة .
الارتفاع الإجمالي : ١٥ قدماً و$\frac{3}{16}$ ٧ بوصة .
المسافة بين مراكز الاستناد : ٤٣ قدماً و٦ بوصات .
المحركات : ٦ من نوع D77 ، ملفوفة بالتتابع وتيار مباشر .
عجلات الدفع : ٦ أزواج من العجلات بقطر ٤٠ بوصة .
الوزن على العجلات الدافعة (محمّل) : ٣٦٨,٠٠٠ رطل .

سعة خزان الوقود: ٣,٢٠٠ جالون.
أقصى نصف قطر للانحناء: ١٩٣ قدماً (٢٩,٧ درجة).
المحرك الأساسي: ١٦ أسطوانة، GM ديزل يشحن كهربائية بالتيربو، رقم 645E3.
القدرة الحصانية: (تقدير المصنع): ٣٠٠٠.
جهد الجر عند نسبة التصاق ٢٥٪: ٩٢,٠٠٠ رطل.



الشكل (١، م١). قاطرة ديزل كهربائية.

(Courtesy of The GMC Electromotive Division, LA Grange, Illinois.)

وحدة نقل نموذجية للنقل على الطرق (الشكل٢، م١)

النوع: جرّار شاحنة نقل آلية تسير على الطرق
الطراز: ASTRO 95.
الخدمة: جرّ مقطورات شاحنات البضائع على الطرق.
المصنّع: GMC – قسم الشاحنات والحافلات.
المحرك الأساسي:

المحرك: ديترويت ديزل، ١٢ أسطوانة، بخاخات ٦٠مم، 71N، دورتان، القطر $4\frac{1}{4}$ بوصة، الشوط ٥

بوصات، الإزاحة : ٨٥١,٠ بوصة[٣]، نسبة الضغط : ١٨,٧ إلى ١ .
القدرة الحصانية : ٣٩٠ SAE صافي عند ٢١٠٠ دورة في الدقيقة .
عزم اللّي : ١٠٧٨ رطلاً ـ قدم SAE صافٍ عند ١٢٠٠ دورة في الدقيقة .
ناقل الحركة : ١٣ سرعة .
الإطارات : /10.00/20 .
الأبعاد - الجرّار :
قاعدة العجلات : ١٩٥ بوصة .
من المصدّ إلى نهاية الهيكل : ٣٠٨ بوصات .
العرض : ٩٦ بوصة .
الارتفاع : ١١١ بوصة .
السعّات :
GVW : ٥٠,٥٠٠ رطل .
GCW : ٧٦,٨٠٠ رطل .
الأحمال المحورية : ١٢,٠٠٠ رطل للأمامية و٣٨,٠٠٠ للمحاور الخلفية المزدوجة .



الشكل (٢، م١). جرّار شاحنة للحمولات الثقيلة.
(Courtesy of The Truck and Coach Division, General Motors Corporation, Detroit, Michigan.)

وحدة نموذجية للنقل فى البحيرات العظمي (الشكل ٣، م١)

النوع : ناقلة شحن سائب فى البحيرات العظمي

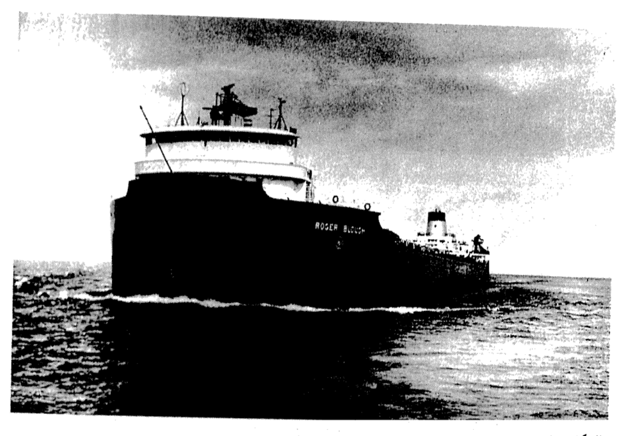
الاسم: روجر بلوف .

الملكية : أسطول البحيرات العظمى : شركة حديد الولايات المتحدة .

سنة الصنع : ١٩٧٤م .

البضاعة : خام الفولاذ .

القدرة المحركة : محركا ديزل بـ ١٦ أسطوانة لكل منهما 14,000 SHP-8



الشكل (٣، م١). ناقلة شحن سائب في البحيرات العظمى.

(Courtesy of The Great Lakes Fleet, United States Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania.)

الرفاص : ٤ زعانف من الحديد الذي لا يصدأ .

الأبعاد:

الطول الإجمالي: ٨٥٨ قدماً.

العرض: ١٠٥ أقدام.

العمق: ٤١ قدماً و٦ بوصات.

الغاطس المصمم: ٢٨ قدماً.

نسبة البلوك (تقريبا): ٠,٩٢.

الوزن الطنّي:

الفارغ زائدا الوقود: ١٥,٠٠٠ طن طولي (تقريبا).

الحمولة: ٤٥,٠٠٠ طن طولي.

غرف التخزين:

العدد: ٢١.

المسافات البينية من المركز للمركز: ٢٤ قدماً.

معدل التفريغ الذاتي: ١٠,٠٠٠ طن طولي في الساعة.

السرعة، محمّل: ١٦,٥ ميل/ساعة.

وحدة نموذجية للنقل النهري (الشكل ٤، م١)

النوع: زورق قطر (دفاع)

الاسم: أ. د. هاينز الثاني.

الخدمة قطر الصنادل في الأنهار.

المصنع: شركة درافو.

المحرك الأساسي:

المحركات: نوع نوردبيرج ديزل-كهربائي.

القدرة الحصانية: ٤٢٠٠ عند ٥١٤ دورة في الدقيقة.

الرفّاصات: ٢ من الحديد الذي لا يصدأ، وفوهات كورت بقطر ١٠ أقدام.

الأبعاد:

الطول: ٢٠٠ قدم.

العمق: ١٢ قدماً.

العرض: ٤٥ قدماً.

الغاطس: ٩ أقدام (تقريبا).



الشكل (٤، م١). زورق قطر نهري.

(Courtesy of Dravo Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania)

وحدة نموذجية للنقل الجوي (الشكل ٥، م١)

النوع : ناقلة جوّية نفّاثة .

الطراز : بوينج ٧٤٧ .

المصنّع : شركة بوينج للطائرات .

المحركات الأساسية :

المحركات : ٤ محركات توربينية من نوع برات ووتني (JT9D–3W) .

قوة الدّفع : ٤٣,٥٠٠ رطل .

سرعة الطيران : ٠,٨٦ ماخ أو ٦٠٠,٨٩ ميل/ ساعة .

الأبعاد : مساحة الجناح : ٥,٥٠٠ قدم٢ .

عرض جسم الطائرة : ٢٠ قدماً .

الوزن :

الوزن الإجمالي عند الإقلاع : ٧١٠,٠٠٠ رطل

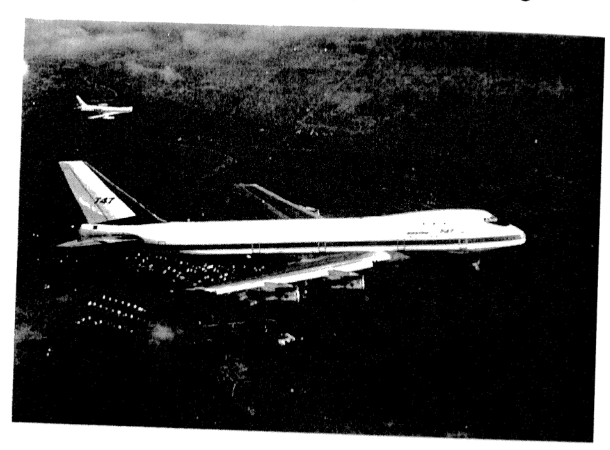
الوزن الأقصى عند الهبوط : ٥٦٤,٠٠٠ رطل

سعة الوقود : ٤٧,٢١٠ جالون أمريكي

السعة المقعدية :

مزيج من درجات الإركاب : ٣٧٤ إلى ٤٠٥ مقاعد

جميع المقاعد درجة سياحية : ٤٤٦ إلى ٤٩٠ مقعدا.



الشكل (٦، م١). طائرة نقل نفاثة.

(Courtesy of Air Transport Association of America, Washington, D.C.)

حافلة آلية تسير على الطرق (الشكل ٦، م١)

المصنع : GMC، قسم الشاحنات والحافلات لشركة جنرال موتورز.

الخدمة على الطرق الحضرية والعالية السرعة.

السعة المقعدية : ٤٧ إلى ٥٣ مقعداً.

المحركات : محـركـات ديترويت ديزل أليسون، ٦ أسطونات و٨ أسطوانات بدورتين.

القدرة الحصانية المكبحية الاسمية (٦ أسطوانات) : ١٧٢ حصاناً عند ٢٠٠٠ دورة/ دقيقة.

القدرة الحصانية المكبحية الاسمية (٨ اسطوانات) : ٢٣٩ حصاناً عند ٢٠٠٠ دورة/ دقيقة.

سعة الوقود: ٩٥ جالوناً.

المكابح: للخدمة، ٤ عجلات، هواء، داخلي متمدد، حذاءان.

للطوارئ، حذاءان، داخلي متمدد، مكبح يدوي.

الأبعاد:

الطول الإجمالي	٣٥قدماً	٤٠قدماً	٤٠ قدماً
عرض الجسم	٩٥ ٣/٤ بوصة	١٠١ ٣/٤ بوصة	٩٥ ٣/٤ بوصة
الارتفاع الإجمالي الأقصى (بدون تكييف)	١٢٠ ١/٤ بوصة	١٢٠ ١/٤ بوصة	١٢٠ ١/٤ بوصة
من الأرض إلى الدرجة الأولى			
المدخل	١٣ ١/٢ بوصة	١٣ ١/٢ بوصة	١٣ ١/٢ بوصة
المخرج	١٥ ١١/١٦ بوصة	١٥ ١١/١٦ بوصة	١٥ ١١/١٦ بوصة
الارتفاع الداخلي - العادي	٧٨ ١/٢ بوصة	٧٨ ١/٢ بوصة	٧٨ ١/٢ بوصة
في المؤخرة	٧٦ ١/٢ بوصة	٧٦ ١/٢ بوصة	٧٦ ١/٢ بوصة
عرض الممر بين المقاعد	٢٠ بوصة	٢٦ بوصة	٢٠ بوصة
عرض فتحة الباب			
المدخل	٣٠ بوصة	٣٠ بوصة	٣٠ بوصة
المخرج (من النوع الذي يُدفع)	٢٦ ١/٢ بوصة	٢٦ ١/٢ بوصة	٢٦ ١/٢ بوصة
المسافة الطولية بين العجلات	٢٣٥ بوصة	٢٨٤ ٣/٤ بوصة	٢٨٤ ٣/٤ بوصة
نصف قطر الالتفاف			
العجلات-لليمين ولليسار	٣٢ قدماً وبوصتين	٣٧ قدماً و٣بوصات	٣٧ قدماً وبوصة
أركان الجسم-لليمين واليسار	٣٧ قدمًا وبوصة	٤٢ قدمًا و٣بوصات	٤٢ قدمًا وبوصة
مقاس الإطار	١١/ ٢٠ بوصة ١٢ لفة	١١/ ٢٠ بوصة ١٤ لفة	١١/ ٢٠ بوصة ١٤ لفة



الشكل (٦، م١). حافلة نقل ركاب.

(Courtesy of The Truck and Coach Division, General Motors Corporation, Detroit, Michigan.)

الجدول (١ م١): معدات نموذجية للنقل العام السريع.

الخصائص	عربة قياسية لإدارة النقل العام الحضرى الأمريكية	هيئة النقل العام في واشنطن في أمريكا	النقل العام السريع لمنطقة خليج سان فرانسيسكو في أمريكا	قطارات الأنفاق في تورنتو بكندا	هيئة النقل العام فى شيكاغو بأمريكا	شركة حافلات الضواحي بملواكي بأمريكا	مركبات النقل العام الخفيف في سان فرانسيسكو الأمريكية	هيئة النقل لمدينة نيويورك الأمريكية
السعة المقعدية	٧٢	٨١	٧٢	٧٧	٤٧ إلى ٥١	١٥٦ إلى ١٦٢	٦٨	١١٨
السعة مع الواقفين	٣٠٠	٢٤٠	٢١٦	٣٠٠			٢١,٨	٢٥٠
الوزن الفارغ (طن)	٤٤,٥	٣٦	٢٩,٥	٢٧,٩	٢٤,٤		٣٤,٥	
الوزن المحمّل (طن)	٥٢,٠	٥٤	٤٩	٥٠,٤		٥,٣ إلى ٥٣,٤		٦٥
الطول (قدم-بوصة)	٧٥-صفر	٧٥	٧٥	٧٤-٦	٤٨-٣	٨٥-صفر	٧١	٨٥
العرض (قدم-بوصة)	٩-٩	١٠-٢	١٠-٥	١٠-٤	٩-٤	١١$\frac{1}{2}$ - ٩	١٠-٨	١٠-٦
الارتفاع فوق القضبان (قدم-بوصة)		١٠-٨	١٠-٥	١١$\frac{3}{4}$ - ١١	١٢-صفر	٩$\frac{1}{2}$ - ١٥	١١-٦	١٣
القدرة الحصانية الإجمالية	٤ إلى ١٧٥ حصان ٧٠٠	٧٠٠	٥٦٠	٤٤٠	٤٠٠	تطلب قاطرات	٤٦٠	١١,٠٠٠ فولت تيار متردد/ ٦٥٠ فولت تيار مباشر(٤٠٠ حصان)
التسارع (ميل/ ساعة/ ثانية)	٣	٣	٣	٢,٥	–	–	٢,٨	٢,٨
معدل الكبح (ميل/ ساعة/ ثانية)	–	٣	٣	٢,٨	–	–	٣,٥ (و٦ تحت سرعة ٣٠ ميل/ ساعة	–
السرعة الدنيا (ميل/ ساعة)	٨٠	٧٥	٨٠	٥٥	٥٥	–	٦٠	١٠٠
اتساع السكة (قدم-بوصة)	٨$\frac{1}{2}$ - ٤	٨$\frac{1}{2}$ - ٤	٥	٨$\frac{1}{2}$ - ٤	٨$\frac{1}{2}$ - ٤	٨$\frac{1}{2}$ - ٤	٨$\frac{1}{2}$ - ٤	٨$\frac{1}{2}$ - ٤
التكلفة (دولار ١٩٧٥م)	–	٣٤٩,٠٠٠	٣٦٩,٢٠٠	١٥١,٠٠٠	–	١٤٣,٥٠٠١(١٩٥٥م)	٣٥٠,٠٠٠	–
مزايا خاصة						بطابقين ومقصورة دفع - جرّ		

الملحق الثاني

مثال توضيحي
PROBLEM EXAMPLE

إن تعدّد الحالات والمسائل المرتبطة بتخطيط النقل يجعل من الصعب أن نعرض مثالا توضيحيا واحدا يحتوي على جميع العناصر التي يجب أخذها بالاعتبار خلال عملية تخطيط النقل. وعلى أية حال، فإن المثال التالي يحتوي على عدد لا بأس به من عمليات التخطيط التي تمثل أنماطا يمكن أن تطبق في حالات أخرى. ولكنها لا تمثل بحد ذاتها ملخّصا شاملا لمحتويات هذا الكتاب. كما نود تنبيه القارئ أننا بّسطنا هذا المثال لأغراض تعليمية وعليه أن لا يظن أن تخطيط النقل يكون دائما بهذه الصورة.

مثال توضيحي

توضح هذه المسألة بعض المصاعب والإجراءات التخطيطية التي تصاحب عملية تخطيط مسار نقل في دولة نامية.

الحاجة إلى النقل. ترغب شركة ضخمة لإنتاج خامات المعادن زيادة إنتاجها بمقدار ٥٠٠٠٠٠ طن سنويا عن طريق افتتاح منجم جديد في منطقة نائية يصعب الوصول إليها في إحدى الدول النامية. ويقع المنجم في وادٍ محاط بسلسلة من الجبال الوعرة ويبلغ ارتفاعها ٦٠٠٠ قدم فوق سطح البحر. كما تقدر الطاقة الإنتاجية للمنجم بـ ٥٠٠٠٠٠ طن في السنة ولمدة ٢٠ سنة.

ولقد فرضت طبيعة الأرض غير المطوّرة التي يقع فيها المنجم، ونوع الخامات المستخرجة منه، وجوب تصدير الخامات إلى الأسواق العالمية بوساطة البواخر العابرة للمحيطات.

محطات البداية والنهاية. يعد موقع المنجم محطة البداية لمسار النقل. وهناك ثلاثة موانئ تقع على المحيط تمثل مواقع محتملة لمحطة نهاية المسار. أحدها هو الميناء (س) الذي يقع بعيدا جدا عن المنجم، لذا لزم استبعاده. أما الميناء الثاني (ص) فهو في بداية تطويره إلا أن إمكانيات توسعته كبيرة كما أنه مرفأ جيد. والميناء الثالث (ع) مكتمل التطوير إلا أنه أصبح مزدحما، وإمكانيات توسعته قليلة، كما يتعرض لتيارات مائية عكسية مضطربة تؤدي أحيانا لحدوث تأخيرات للسفن والبواخر. وبالإضافة لذلك، فإن استخدام الميناء (ع) لشحن خامات المعادن يتطلب مدّ مسار النقل من المنجم لمسافة إضافية قدرها ٥٠ ميلا (٧٥كلم). لذا فقد اختير الميناء (ص)، المسمى بميناء مرحبا، كمحطة نهائية لمسار نقل الخامات استعدادا لشحنها عبر المحيط. (ملاحظة: هذه المسألة غير معنية بمسائل النقل بعد مغادرة الميناء).

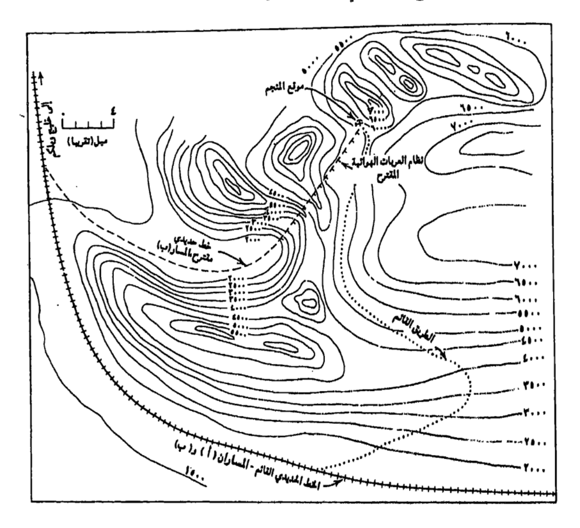
اختيار واسطة النقل. من المعروف أن نقل خامات المعادن المكونة من مواد حبيبية سائبة يكون أكثر كفاءة عند نقلها بوساطة السكك الحديدية، أو النقل المائي، أو بوساطة السيور المتحركة. ومن الجدير بالذكر أن هناك خطاً حديدياً قائماً لجزء من المسافة من الميناء إلى المنجم، ولكن لا تتوافر معلومات كافية لتحديد أفضل وسيلة نقل وأفضل مسار للوصول إلى الخط الحديدي القائم. وقد جرى اعتبار استخدام أي من وسائط النقل التالية: شاحنات، سيور متحركة، عربات هوائية معلقة، خط أنابيب بجريان مُعلّق الخامات، أو خليط من هذه الوسائط للوصول إلى الخط الحديدي.

وقد استبعد استخدام أنظمة خطوط الأنابيب أو السيور المتحركة لأن نظام النقل المستخدم يجب أن يتيح إمكانية نقل الوقود والإمدادات إلى المنجم. وأيضا، فإن المنطقة قاحلة ولا تتوافر فيها مصادر للمياه اللازمة لاستخدامها في الجريان المعلق عبر الأنابيب. وبالنسبة لوسائل النقل الأخرى الممكنة المتبقية فإنه لا يمكن الاختيار منها إلا على أساس توفر بيانات فعلية مبنية على دراسة ميدانية استكشافية.

استكشاف المنطقة. لا توضح الخرائط المتوافرة للمنطقة أية تفاصيل طبوغرافية. لذا فقد تم القيام برحلات ميدانية استكشافية للمنطقة بواسطة السيارات والسكة الحديدية والطائرات العمودية وعلى الأقدام، شملت دراسة التضاريس وتصريف المياه السطحية والمناسيب وغيرها من الخصائص ذات الصلة الخاصة بالأرض الواقعة بين المنجم والسكة الحديدية. وتم تطوير خريطة للمنطقة ورسمها بناء على نتائج العملية الاستشكافية. انظر الشكل (١، م٢). وبناء على الدراسة الاستكشافية اختيرت ثلاثة مسارات ووسائط نقل مختلفة لاخضاعها لمزيد من الدراسة. انظر الشكل (١، م٢).

المسار (أ): تنقل الخامات على طريق قائم طوله ٣٠ ميلا، ويميل بدرجة ميل قدرها ٨٪ حتى يصل إلى سكة حديدية خفيفة الإنشاء وقليلة الاستعمال تملكها شركة التعدين، ومن ثم تنقل الخامات بوساطة الخط الحديدي (على ميل حاكم قدره ٢٪) لمسافة ٢٠٠ ميل حتى تصل إلى خليج مرحبا. ويحتاج الجزء القائم من المسار

إلى قضبان جديدة أثقل، مع تقوية الجسور، وتجديد العوارض الخشبية وفرش الحصى للسكة، وإضافة عدد من العربات والقاطرات. وتقدر تكاليف تحديث الخط الحديدي بمبلغ ٥٠٠٠٠ دولار لكل ميل. أما تكلفة تحسين «الطريق» من حيث إعادة رصفه وزيادة عرضه وتحسين تصريفه للمياه، فتقدر بمبلغ ٣٠٠٠٠ دولار لكل ميل. ويبلغ الطول الكلي للمسار ٢٣٠ ميلاً.



الشكل (١، م٢). جزء من الخريطة الاستكشافية لمسار النقل الجديد المقترح.

المسار (ب): يتكون من ١٠ أميال من نظام العربات الهوائية المعلقة عبر سلسلة من الجبال، و٢٠ ميلا من خط حديدي جديد يجب إنشاؤه عبر منطقة تلال حتى يصل إلى الخط الحديدي نفسه القائم في المسار (أ)، والذي يبلغ ميله الحاكم ٢٪، ولكن يصل إليه عند نقطة تبعد ١٦٠ ميلا، فقط، عن خليج مرحبا. ويبلغ الطول الكلي للمسار (ب) ١٩٠ ميلا.

المسار (ج): ويبلغ طوله ١٤٠ ميلا من نظام العربات الهوائية المعلقة يمتد فوق تضاريس جبلية وعرة ويصل مباشرة إلى خليج مرحبا.

التحليل المبدئي للتكاليف. بعد ذلك، حُسبت البيانات التالية للحصول على تقديرات أولية للتكاليف لاستخدامها في التبرير الاقتصادي.

البيانات المشتركة:

الحمولة الطنّية : الإنتاج السنوي للمنجم	= ٥٠٠,٠٠٠ طن
الإنتاج اليومي للمنجم (على أساس ٣١٠ أيام في السنة)	= ١٦١٢ طناً
تكاليف المنجم ومعداته	= ٢٠,٠٠٠,٠٠٠ دولار
التكلفة اليومية المقدرة لعمليات المنجم	= ٣,٥ دولار لكل طن
سعر البيع المتوقع للخامات في خليج مرحبا	= ٢٠ دولاراً لكل طن

المسار (أ)

متطلبات الشاحنات: تم اعتبار نوع من الشاحنات تزن الواحدة منها ١٨ طنا وهي فارغة، وهي ذات محرك بقدرة حصانية (صافية) قدرها ٢٦٠ حصاناً عند سرعة تشغيل قدرها ٣٠٠٠ دورة في الدقيقة، و نسب تروسه هي ١:٦ , ١:٤ , ١:٢,١ , ١:١,٧ و١:١ لناقل الحركة، و٦,٥:١ , و٥,٧:١ للمسنن التفاضلي. وبسبب حدة ميول الطريق التي تصل إلى ٨٪ من المرتفعات والمنحدرات، فإنه يفترض أن يتم تشغيل هذا النوع من المركبات في نسبة السن الثالثة لناقل الحركة (أي ١,٢:١) مع اللجوء للنسب الأقل لحالات الطوارئ. ونسبة الفاقد الميكانيكي للمحرك أثناء القيادة هي ١٠٪. والإطارات المستخدمة هي ٤٨ بوصة × ١٢ بوصة.

ومما درسناه في الفصل الخامس، يمكن حساب عزم اللي (T) من المعادلة:

$$T = {}^{hp}\!/_{0.00019N}$$

أو T = ٢٦٠ ÷ (٠,٠٠٠١٩ × ٣٠٠٠) = ٤٥٦ رطل-قدم

كما يمكن حساب جهد الجرّ (TE) من المعادلة:

$$TE = T \times G_t \times G_d \times e \times r$$

أو TE = ٤٥٦ × ١,٢ × ٥,٧ × ٠,٩ × $\left(\frac{٢٤}{١٢}\right)$ = ٩٨٢٨ رطل

ولكن

$$TE = 375 \times hp/V$$

وبالتالي V = (٣٧٥ × ٢٦٠) ÷ ٩٨٢٨ = ١٠ أميال/ ساعة

أما مقاومة الطريق (R_r) فيمكن حسابها من المعادلة:

$$R_r = \left(17.9 + \frac{1.39V - 10.2}{W}\right) r_r + \frac{CAV^2}{W} W$$

حيث إن:

r_r = نسبة مقاومة سطح الطريق المتوسط الحالة (٤٠ رطلاً لكل طن) إلى مقاومة سطح الطريق الجيد = ٢

W = الوزن الفارغ للشاحنة = ١٨ طناً

A = مساحة المقطع = ٩٠ قدماً مربعاً.

أي:

$$R_r = \left[\left(١٧,٩ + \frac{١,٣٩ \times ١٠ - ١٠,٢}{١٨}\right) \times ٢ + \frac{٠,٠٠٢ \times ٩٠ \times ١٠٠}{١٨}\right] \times ١٨$$

= ٦٧٠ رطلاً

(وبالنسبة لوحدة الوزن، $R_r = \frac{٦٧٠}{١٨}$ = ٣٧,٢ رطل لكل طن)

وتصبح المقاومة الكلية للشاحنة الفارغة التي تسير على طريق يميل بمعدل ٨٪ =

٦٧٠ + ٨ × ٢٠ × ١٨ = ٣,٥٥٠ رطل

(لاحظ أن مقاومة الميل هي ٢٠ رطلاً لكل طن من وزن المركبة لكل درجة مئوية واحدة من الميل)

إذن المقاومة الصّافية للجرّ = ٩٨٢٨ − ٣٥٥٠ = ٦٢٧٨ رطلاً

(= قوة الجرّ لعمود السحب)

الحمولة = ٦٢٧٨ ÷ (٣٧,٢ + ٨ × ٢٠) = ٣١,٣ طن (استعمل ٣٠ طنا)

عدد الشاحنات المطلوبة يوميا = ١٦١٢ ÷ ٣٠ = ٥٤ رداً

زمن الحركة للرحلة الواحدة = مسافة الرحلة الدائرية ÷ السرعة

= ٦٠ ÷ ١٠ = ٦ ساعات

(ربما تستطيع الشاحنة الحركة بسرعة أكبر في رحلة الإياب نظرا لخفة وزنها بسبب عدم وجود حمولة الخامات ولكن العديد من رحلات الإياب ستكون محملة بأشياء أخرى مثل جلب الوقود والإمدادات للمنجم. لذا تم افتراض السرعة نفسها لرحلتي الذهاب والإياب للاحتياط).

الوقت اللازم للتحميل والتفريغ والتأخير = ساعة واحدة

الزمن الكلي للرحلة الدائرية = ٧ ساعات

عدد الرحلات الدائرية للشاحنة الواحدة في اليوم = ٢٤ ÷ ٧ = ٣,٤

عدد الشاحنات المطلوبة = (عدد ردود الشاحنات في اليوم ÷ عدد الرحلات للشاحنة الواحدة) × ١,١٠
= (٥٤ ÷ ٣,٤) × ١,١٠ = ١٨ شاحنة

(لاحظ أن العامل ١,١٠ استخدم للأخذ في الاعتبار وجود عدد إضافي من الشاحنات يعادل ١٠٪ وذلك كاحتياط، ويشمل الشاحنات التي في الصيانة)

كما يتوافر نوعان آخران من الشاحنات يمكن استخدام أي منهما. والجدول التالي يبين الخصائص التشغيلية والتكلفة لهما والتي حسبت بطريقة الحساب السابقة نفسها للشاحنة التي تزن فارغة ١٨ طنا:

١ - الخصائص التشغيلية

رقم الشاحنة	الحمولة (طن)	سعر الشاحنة (دولار)	سرعة الحركة (ميل/ساعة)	عدد الردود في اليوم	زمن الرحلة الدائرية	عدد الرحلات الدائرية للشاحنة في اليوم	عدد الشاحنات المطلوبة	سعر الشراء (دولار)
١	٢٠	٢٠٠٠٠	١٢	٨١	٦	٤,٠	٢٣	٤٦٠٠٠٠
٢	٣٠	٣٠٠٠٠	١٠	٥٤	٧	٣,٤	١٨	٤٥٠٠٠٠
٣	٤٠	٤٠٠٠٠	٨	٤٠	٨ ١/٢	٢,٨	١٦	٦٤٠٠٠٠

٢ - التكاليف

رقم الشاحنة	العامل السنوى لاسترداد رأس المال[أ]	التكاليف السنوية الرأسمالية (دولار)	الأعداد السنوية لشاحنة-ميل[ب]	التكاليف التشغيلية لكل مركبة ميل-(دولار)	التكاليف التشغيلية السنوية (دولار)	التكاليف السنوية الكلية (دولار)
١	٠,١٢٩٥٠	٥٩٥٧٠	١٦٥٦٠٠٠	٠,٣٢	٥٢٩٩٢٠	٥٨٩٤٩٠
٢	٠,١٢٩٥٠	٦٩٦٩٣	١٠١١٨٤٠	٠,٣٦	٣٦٤٢٦٢	٤٣٣٩٥٥
٣	٠,١٢٥٩٠	٨٢٨٨٠	٨٠٦٤٠٠	٠,٤٨	٣٧٤٩٧٦	٤٥٧٨٥٦

(أ) على أساس عمر ١٠ سنوات للشاحنات ومعدل عائد قدره ٥٪. انظر الجدول ١٥-١.

(ب) عدد الرحلات الدائرية في اليوم × طول الرحلة الدائرية × عدد المركبات × ٣١٠ أيام.

ويتضح من جدول الحسابات للمقارنة بين التكاليف السنوية أن الشاحنة رقم ٢ في المثال تعطي أقل تكاليف سنوية كلية. لذا سوف تختار لاستخدامها في ما تبقى من هذه المسألة.

متطلبات معدات السكة الحديد: هذا الجزء من الدراسة مبني على ميل حاكم قدره ٢٪ لسكة الحديد، ومتوسط لمقاومة القطار قدره ٦ أرطال لكل طن، وعربات تزن الواحدة منها ٦٠ طنا (٤٠ طنا منها للحمولة)، وقاطرات ديزل-كهربائية تزن الواحدة منها ١٠٠ طن وقدرتها الحصانية ١٨٠٠ حصان.

مقاومة القاطرة $R_{LOCO} =$ = مقاومة الجرّ ومقاومة الميل × وزن القاطرة

= (٦ + ٢ × ٢٠) × ١٠٠ = ٤٦٠٠ رطل

قوة الجرّ لعمود السحب عند سرعة ١٠ أميال/ ساعة ومعامل التصاق قدره ٢٥ , ٠

= جهد الجرّ - المقاومة

= (٣٠٨ × ١٨٠٠ ÷ ١٠) - ٤٦٠٠ = ٥٠٨٤٠ رطلاً

مقاومة العربة = (٦+٢×٢٠) × ٦٠ = ٢٧٦٠ رطلاً

عدد العربات في القطار الواحد = ٥٠,٨٤٠ ÷ ٢,٧٦٠ = ١٨ عربة

صافي الحمولة الطنية لكل قطار = ٤٠ × ١٨ = ٧٢٠ طناً

عدد ردود القطار في اليوم = ١٦١٢ ÷ ٧٢٠ = ٢,٢ رد

ويمكن حساب زمن الرحلة الدائرية الكلي (على أساس سرعة ١٠ أميال/ ساعة) من العناصر التالية:

زمن الحركة في الرحلة الدائرية = ٤٠٠ ميل ÷ ١٠ = ٤٠ ساعة

التأخيرات أثناء الحركة = ٤ ساعات

الزمن داخل المحطات (التحميل، التفريغ والفحص... إلخ) = ١٦ ساعة

الزمن الكلي للرحلة الدائرية (الذهاب والإياب) = ٦٠ ساعة

المعدات المطلوبة لما سبق:

٦ قطارات كاملة (عربات وقاطرات) بالإضافة إلى قطار واحد كامل كاحتياط (أو أثناء الإصلاح)

= ٧ قطارات

العربات: ٧ × ١٨ = ١٢٦ عربة

القاطرات: ٧ قاطرات

سعر الشراء:

العربات	=	١٢٦ × ٦٠٠٠ دولار	=	٧٥٦٠٠٠ دولار
القاطرات	=	٧ × ٣٠٠٠٠٠ دولار	=	٢١٠٠٠٠٠ دولار
إجمالي ثمن المعدات				٢٨٥٦٠٠٠ دولار

المسار (ب)

متطلبات العربات الهوائية المعلقة. عدد الأطنان في الساعة (التشغيل ٢٤ ساعة)

= ١٦١٢ ÷ ٢٤ = ٦٧ طنا. (استعمل ٧٠ طنا في الساعة)

أقصى قيمة لمتوسط التكلفة = ١٢٠٠٠٠ دولار لكل ميل من الخط

(هذه التكلفة مأخوذة بسبب وعورة التضاريس وبسبب الحاجة لإنشاء محطة للطاقة بقيمة ٥٠٠٠٠ دولار لتشغيل خط العربات الهوائية المعلقة الذي يبلغ طوله ١٠ أميال كقطاع واحد)

التكاليف التشغيلية = ٠,٠٨ دولار لكل طن-ميل

متطلبات السكة الحديدية

(كما كان الحال في المسار (أ) فإنه من الضروري توفير ٢,٢ رد قطار مكون من ١٨ عربة في اليوم وذلك لنقل الإنتاج اليومي للمنجم البالغ ١٦١٢ طناً)

زمن الحركة للرحلة الدائرية = ٣٦٠ ميلاً ÷ ١٠	=	٣٦ ساعة
التأخيرات أثناء الحركة	=	٤ ساعات
الزمن داخل المحطات (التحميل، التفريغ، الفحص... إلخ)	=	١٦ ساعة
الزمن الكلي للرحلة الدائرية	=	٥٦ ساعة

المعدات المطلوبة لما سبق = (٥٦ ÷ ٢٤) × ٢,٢ = ٥ قطارات كاملة

٥ قطارات كاملة (عربات وقاطرات) بالإضافة لقطار واحد كامل كاحتياط = ٦ قطارات

العربات: ٦ × ١٨ = ١٠٨ عربات

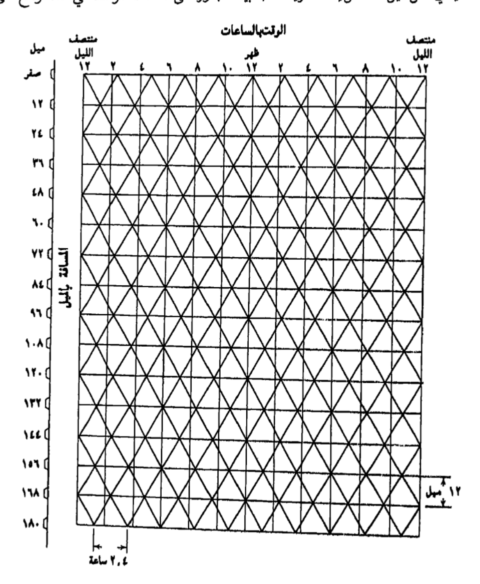
القاطرات: ٦ قاطرات

سعر الشراء:

العربات	= ١٠٨ × ٦٠٠٠ دولار	=	٦٤٨٠٠٠ دولار
القاطرات	= ٦ × ٣٠٠٠٠٠ دولار	=	١٨٠٠٠٠٠ دولار
إجمالي ثمن المعدات		=	٢٤٤٨٠٠٠ دولار

السعة المرورية للخط الحديدي: يستخدم الخط الحديدي القائم حاليا بمعدل ٤ قطارات يوميا (٢ في كل اتجاه). وبإضافة ٤,٤ قطار (٢,٢ في كل اتجاه) يجعل مجموع القطارات ٦,٦ قطار. وتبعد التفريعات الجانبية للتجاوز على السكة بمسافة ١٢ ميلاً تقريبا عن بعضها (أي ١,٢ ساعة إذا كانت سرعة القطارات ١٠ أميال/ساعة). وحيث إن المسافة البينية بين القطارات التي تسير على خط حديدي بسكة مفردة (مع إغفال حركة

أسطول من القطارات مع بعضها) يجب أن تكون ضعف المسافة البينية لتفريعات التجاوز الجانبية المحسوبة بالساعات، كما في الشكل (٢، م٢)، فإنه يمكن تشغيل ١٠ قطارات في كل اتجاه خلال فترة ٢٤ ساعة، أي ما مجموعه ٢٠ قطاراً في اليوم. وبالرغم من أن هذه هي السعة النظرية إلا أنه يمكن القول إن الخط القائم كاف لاستيعاب القطارات السبع المقترحة في اليوم. إذ إن ٧ قطارات تقل كثيرا عن السعة التي يمكن لخط حديدي مفرد مناولتها في اليوم والتي تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ قطاراً. ويساعد تقليل المسافة البينية بين التفريعات الجانبية للتجاوز على السكة على تقليل التأخيرات. ويمكن افتراض أن تكاليف تحسين الخط الحديدي لكل ميل ستشمل إنشاء تفريعات جانبية للتجاوز على مسافات متوسطة في عدة مواقع على الخط.



الشكل (٢، م٢). الجدول الزمني البياني النظري للقطار – ساعة.

وباستعمال المعادلات التي سبق عرضها في الفصل الثامن، فإن عدد القطار–ساعة = عدد التفريعات الجانبية للتجاوز على السكة × ٢٤ . فإذا كانت المسافة بين التفريعات الجانبية هي ١٢ ميلا فإن الخط بطول ١٨٠ ميلا سيحتوي على ١٥ تفريعة جانبية طول كل منها ميل واحد . وسيصبح العدد النظري للقطار–ساعة = ١٥ × ٢٤ = ٣٦٠ قطاراً–ساعة . وحيث إن كل قطار يسير بسرعة ١٠ أميال/ ساعة فإن وقت الحركة سيكون ١٨ ساعة لكل قطار، والعدد الكلي للقطارات = ٣٦٠ ÷ ١٨ = ٢٠ قطارا .

تحليل مقارن للتكلفة. فيما يلي نلخص على شكل جدول تكاليف (إنشاء وشراء) المسارات والمعدات والتكاليف التشغيلية للمسارات المختلفة :

١ – تكاليف المسار

المسار	تحسين الطريق القائم (دولار)	إنشاء سكة حديدية جديدة (دولار)	تحسين الخط الحديدى القائم (دولار)	إنشاء نظام عربات هوائية معلقة جديد (دولار)	التكاليف الكلية لإنشاء المسار (دولار)
أ	(٣٠ ميل × ٣٠٠٠٠) = ٩٠٠٠٠٠	–	(٢٠٠ ميل × ٥٠٠٠٠) = ١٠٠٠٠٠٠٠	–	١٠٩٠٠٠٠٠
ب	–	(٢٠ ميل × ٨٠,٠٠٠) = ١٦٠٠٠٠٠	(١٦٠ ميل × ٥٠٠٠٠) = ٨٠٠٠٠٠٠	(١٠ ميل × ١٢٠,٠٠٠) = ١٢٠٠٠٠٠	١٠٨٠٠٠٠٠
ج	–	–	–	(١٤٠ ميل × ١٢٠٠٠٠) = ١٦٨٠٠٠٠٠	١٦٨٠٠٠٠٠

٢ – تكاليف المعدات

المسار	الطريق شاحنات (دولار)	السكك الحديدية قاطرات (دولار)	السكك الحديدية عربات (دولار)	العربات الهوائية المعلقة محطات طاقة (دولار)	التكاليف الكلية للمعدات (دولار)
أ	(١٨ شاحنة × ٣٠٠٠٠) = ٥٤٠٠٠٠	٢٦٠٠٠٠٠	٧٥٦٠٠٠	–	٣٣٩٦٠٠٠
ب	–	١٦٠٠٠٠٠	٦٤٨٠٠٠	٥٠٠٠٠	٢٤٩٨٠٠٠
ج	–	–	–	١٤ × ٥٠٠٠٠ = ٧٠٠٠٠٠	٧٠٠٠٠٠

٣ – التكاليف التشغيلية

المسار	١٦ شاحنة × ٠,٣٦ دولار لكل مركبة – ميل (دولار)	القطارات × ٧,٠٠ دولارات لكل قطار – ميل (دولار)	العربات الهوائية المعلقة × ٠,٨ دولار لكل طن – ميل (دولار)	التكاليف التشغيلية الكلية (دولار)
أ	٣٦٤٢٦٢	(٢٧٢٨٠٠ قطار – ميل) ١٩٠٩٦٠٠ =	–	٢٢٧٣٨٦٢
ب	–	(٢٤٥,٥٢٠ قطار – ميل) ١٧١٨٦٤٠ =	٤٠٠٠٠٠	٢١١٨٦٤٠
ج	–	–	٥٦٠٠٠٠٠	٥٦٠٠٠٠٠

ويجب عند حساب معدل العائد اعتبار تأثيرات النقل، فقط، عند هذه المرحلة. إذ إن تقويم قيمة المنجم نفسه ليست جزءاً من هذه المسألة. ويقدر سعر بيع الطن الواحد من خامات المعادن عند وصوله إلى الميناء بمبلغ ٢٠ دولاراً. وعليه، فإن الدخل الأصلي سيكون ٥٠٠٠٠٠ × ٢٠ = ١٠ ملايين دولار. وباستخدام هذه القيمة في معادلة الموقع $\left[p = (R-E)/C\right]$ لحساب معدل العائد (p) نحصل على النتائج المجدولة أدناه:

معدل العائد

المسار	التكاليف الدخل (دولار)	التكاليف الرأسمالية التشغيلية (دولار)	تكاليف (تكاليف المسار) (دولار)	مجموع تكاليف المعدات (دولار)	المسار والمعدات (دولار)	معدل العائد
أ	١٠ مليون	٢٢٧٣٨٦٢	١٠٩٠٠٠٠٠	٣٣٩٦٠٠٠	١٤٢٩٦٠٠٠	٪٥٤,١
ب	١٠ مليون	٢١١٨٦٤٠	١٠٨٠٠٠٠٠	٢٤٩٨٠٠٠	١٣٢٩٨٠٠٠	٪٥٩,٢
ج	١٠ مليون	٥٦٠٠٠٠٠	١٦٨٠٠٠٠٠	٧٠٠٠٠٠٠	٢٣٨٠٠٠٠٠	٪١٨,٥

ومن الواضح أن المسار (ج)، أو المسار المكون كليا من العربات الهوائية المعلقة، يعد خارج الصورة بالتأكيد نظرا لانخفاض معدل العائد الخاص به عنه للمسارين الآخرين. أما المسار (ب) المكون من خليط من السكك الحديدية والعربات الهوائية المعلقة فهو أفضل اقتصاديا بمقدار ضئيل من المسار (أ) المكون من الطريق المرصوف والسكة الحديدية. ونظرا لذلك، ربما كان من الحكمة دراسة كل من البديلين (المسارين «أ» و«ب») دراسة مستفيضة لتحديد ما إذا كان يمكن الحصول على درجة ميل أنسب أو مسار أقصر لأي من مسارات الشاحنات أو العربات الهوائية المعلقة أو السكك الحديدية.

التبرير الاقتصادي. بافتراض أن المسار (ب) لا يزال هو المسار الأفضل حتى بعد إجراء الدراسة المستفيضة، فإن الخطوة التالية تتمثل في تحديد الجدوى الاقتصادية وتبرير القيام بهذا المشروع. وهنا، فإن تبرير إنشاء المسار يعتمد على تبرير الغرض من إنشائه. فإذا لم يمكن تبرير افتتاح المنجم ونقل الخامات منه لتصديرها، فلا داعي، إذن، لدراسة مسألة نقل منتجاته مطلقاً.

وبافتراض أن التكلفة الرأسمالية الكلية للمنجم هي ٢٠ مليون دولار وأن إجمالي تكاليف تشغيله السنوي هي ٣,٥ دولار لكل طن من الإنتاج، فإنه يمكن حساب معدل العائد للمشروع برمته كما هو مبين أدناه [لاحظ أن القيمة التي يضيفها النقل على إنتاج المنجم سيكون قيمة الطن في الميناء (٢٠ دولاراً) ناقصا التكاليف التشغيلية للمنجم (أي ٢٠ - ٣,٥ دولار = ١٦,٥ دولار) ناقصا التكاليف الإنشائية لعمليات المنجم]:

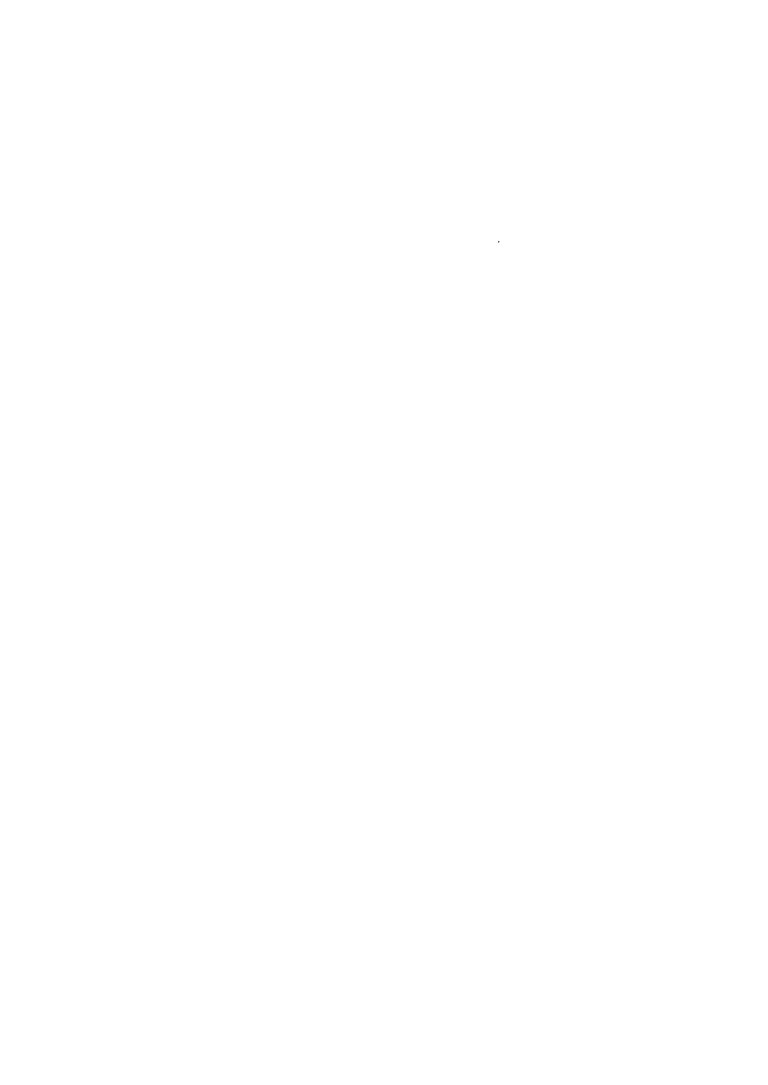
الإيرادات:			١٠٠٠٠٠٠٠ دولار
التكاليف التشغيلية:	للمنجم (٣,٥ دولار لكل طن)	١٧٥٠٠٠٠ دولار	
	للنقل	٢١١٨٦٤٠ دولارا	
	المجموع		٣٨٦٨٦٤٠ دولاراً
التكاليف الرأسمالية:	للمنجم	٢٠٠٠٠٠٠٠ دولار	
	للنقل	١٣٢٩٨٠٠٠ دولار	
	المجموع		٣٣٢٩٨٠٠٠ دولار

معدل العائد = (١٠٠٠٠٠٠٠ - ٣٨٦٨٦٤٠) ÷ ٣٣٢٩٨٠٠٠ = ١٨,٤٪

وهكذا يتضح أن كامل المشروع، بما في ذلك المسار (ب)، يعطي معدلا جيدا للعائد حتى إذا أضيفت نسبة ١٠٪ لجميع التكاليف السابقة على سبيل الاحتياط. ولا داعي لاختبار جدوى المسارين (أ) و(ج) لأنه قد سبق استبعادهما أثناء مقارنة معدلات العائد للمسارات الثلاثة. كما أن الإيرادات وتكاليف المنجم هي ذاتها للبدائل الثلاثة.

وعند القيام بتحديد الموقع النهائي للمسار، فإن تصميمه النهائي سيخضع لتحكم عديد من العوامل التفصيلية المتعلقة بدرجة الميل والانحناء والمسافة على طول المسار الذي يختار. وعندئذ، سيتم القيام بالعمليات الحسابية السابقة نفسها، ولكن، في هذه المرّة، باستخدام التكاليف التفصيلية بدلا من التكاليف الإجمالية. وكما ذكرنا في فقرة سابقة، فإنه ربما يكون من المفيد إجراء دراسة مسحية تفصيلية للمسار (أ) وكذلك للمسار (ب). إلا أنه يجب إجراء مقارنة سريعة هنا حول ما إذا كانت الوفورات الممكن الحصول عليها عند إجراء الدراسة التفصيلية لإعادة النظر في المسار (أ) ستكون أكبر من التكاليف الإضافية للقيام بالدراسة.

وهنا يجب اعتبار بديل آخر ممكن. إذ قد يكون الخط الحديدي القائم مملوكا لشركة أخرى قامت بعرض إنشاء الخط الحديدي الجديد المقترح بطول ٢٠ ميلا وتشغيله ونظام العربات الهوائية المعلقة بطول ١٠ أميال حتى المنجم مقابل ضمان نقل منتجات المنجم إلى خليج مرحبا بسعر ٥,٠٠ دولار لكل طن. وفي هذه الحالة، فإن تحليل معدل العائد سيكون مبنيا على الوفورات. إذ إن الإيرادات (R) في معادلة معدل العائد ستصبح الآن عائدات أجور الشحن، أو ٥,٠٠ × ٥٠٠٠٠٠ طن = ٢٥٠٠٠٠٠ دولار في السنة. أما تكاليف التشغيل (E) في معادلة معدل العائد فتمثلها مصاريف تشغيل المسار (ب)، والتكاليف الرأسمالية (C) في معادلة معدل العائد هي تكاليف إنشاء المسار (ب) وتجهيزه بالمعدات. أي أن معدل العائد = (٢٥٠٠٠٠٠ - ٢١١٨٦٤٠) ÷ ١٣٢٩٨٠٠٠ = ٢,٩٪. وفي هذه الظروف، فإنه من الصعب تبرير الاستثمار المالي في نظام النقل الخاص هذا بوساطة شركة التعدين. إذ تستطيع شركة التعدين الحصول على عائد مالي أكبر من ٢,٩٪ وذلك باستثمار أموالها في مشروع آخر أكثر جدوى، والتعاقد مع شركة سكة الحديد بإنشاء المسار (ب) وتشغيلها مقابل أجور شحن قدرها ٥ دولارات لكل طن. ومع ذلك، فقد تكون رغبة شركة المناجم في التحكم بحركة الخامات إلى الشاطئ، أو وجود شكوك لديها بقدرة شركة سكة الحديد على المحافظة على شروط الاتفاقية بينهما، سببا كافيا لقيامها بإنشاء نظام النقل الخاص وتشغيله حتى مع انخفاض معدل عائده.



الملحق الثالث

الطبعة الثالثة لدليل سعة الطرق ١٩٨٥م[1]

THE 1985 HIGHWAY CAPACITY MANUAL

لقد بحثنا في الفصل الثامن عوامل مستوى الخدمة ومعايير الأداء. واعتمد عرض المؤلف لموضوع سعة الطرق هناك على الافتراضات والإجراءات التي جاءت بها الطبعة الثانية من دليل سعة الطرق الذي أصدره مركز أبحاث الطرق الأمريكي سنة ١٩٦٥م. وكان قد تم إصدار الطبعة الأولى من هذا الدليل المهم في سنة ١٩٥٠م استجابة للتطور الكبير والسريع في تصميم الطرق وإنشائها بعد الحرب العالمية الثانية، وكذلك بسبب عدم وجود مقاييس محددة ومعايير علمية لضبط وتناسق تصميم الطرق وإنشائها آنذاك.

وقد أدت الطبعة الثانية لدليل سعة الطرق دورا مهما جدا ومؤثرا في تصميم الطرق وتشغيلها في جميع أنحاء العالم، وأصبح استعمال هذا الدليل خلال السنوات العشرين التي تلت صدور الطبعة الثانية ضرورة تصميمية لمشاريع الطرق والنقل، وأصبح نموذجا عالميا لمعايير التصميم والأبحاث يُرْجَع إليه ويحتذى به.

وعلى الرغم من هذا الاستعمال الواسع الانتشار، إلا أن التغييرات والابتكارات والتقدم العلمي في المجالات المختلفة أبرزت الحاجة إلى تحديث هذا الدليل (الطبعة الثانية) على ضوء الأبحاث والتغيرات الاجتماعية والاقتصادية والعلمية التي حدثت خلال العقدين والتي تلت صدورها. وهكذا بدأ العمل بإعداد الطبعة الثالثة لدليل سعة الطرق بوساطة لجنة من الخبراء الأمريكيين تحت رعاية مجلس أبحاث النقل الأمريكي آخذين بعين

(١) *Highway Capacity Manual*, Special Report 209, Transportation Research Board; Washington, D.C., 1985.

الاعتبار نتائج جميع البحوث العلمية المتعلقة بالموضوع، والأحوال السائدة لتصميم المركبات، وسلوك السائقين، والتقدم في علوم الحاسوب وغيرها. وعلى هذا الأساس، فقد صدرت الطبعة الثالثة لدليل سعة الطرق في منتصف عام ١٩٨٥م تحت التقرير الخاص رقم «٢٠٩» من مجلس أبحاث النقل الأمريكي، واشنطن دي . سي . وفيما يلي، نقدم عرضا مختصرا للتغيرات المهمة التي جاءت بها الطبعة الثالثة من دليل سعة الطرق فيما يتعلق بتعريف مستوى الخدمة، والموضوعات الجديدة التي أدخلت، وإجراءات حساب السعة للمرافق المختلفة، واستعمال الحاسوب في التحليل.

مستوى الخدمة
LEVEL OF SERVICE

لقد عُرّف مستوى الخدمة على أنه نوعية الخدمة كما يفهمها مستعمل الطريق. ويعرّف الدليل معايير مستويات الخدمة على أساس المعايير من وجهة نظر مستعمل الطريق ويربطها بحجم المرور لكل مستوى. ولقد أبقى الدليل الجديد على المستويات الستة لنوعية الخدمة كما جاءت في طبعة ١٩٦٥م، ولكن تعريف هذه المستويات تغير في كثير من الأحيان، ويمكن تلخيص ذلك بما يلي:

١ - يركز الدليل الجديد على المعدل الأقصى لتدفق المرور خلال ١٥ دقيقة. وهذا تغيير عن طبعة ١٩٦٥م التي تستعمل حجم المرور خلال ساعة، وتصف معدل الأحوال السائدة خلال تلك الساعة. ويعكس هذا التغيير التنبه لأهمية الضغط المروري خلال فترات قصيرة (أقل من ساعة)، والقدرة للحصول على البيانات المرورية لتحليلها.

٢ - المتغيرات والمقاييس التي تصف مستوى الخدمة مبينة في الجدول (١، م٣). وتختلف هذه في أكثر الأحيان عن تلك التي جرى استعمالها في طبعة ١٩٦٥م. ولقد عرّفت طبعة ١٩٦٥م مستوى الخدمة بمقاييس نوعية الخدمة وأنشأت عدة معايير على أساس أحجام المرور. أما في طبعة ١٩٨٥م، فالمعايير مرتبطة بنوعية الخدمة. ولقد جرى تطوير إجراءات لحساب مستويات الأحجام التي يمكن استيعابها، وفي الوقت نفسه، الوفاء بالمعايير المعتمدة لمستويات الخدمة المختلفة.

وقد أصبح مستوى الخدمة معيارا عاما من معايير تصميم الطرق على جميع أنواعها وكذلك معيارا من معايير تقدير تلوث الهواء والضجيج. ويختلف معنى مستوى الخدمة في دليل سعة الطرق الجديد عن المعنى السابق. فمثلا، إذا كنا نرغب في تصميم تقاطع ذي إشارات ضوئية على أساس مستوى خدمة (C)، فالدليل الجديد يحدد مدة قصوى للتأخير (الانتظار) بناء على معايير معينة، بينما دليل ١٩٦٥م يحدد عامل التحميل الأقصى الذي هو مقياس يعتمد على حجم الطلب المروري. وفي هذه الحالة، ستكون نتيجة التصميم وكذلك الأحوال المرورية مختلفة.

وتركز المعايير والمقاييس المبينة في الجدول (١، م٣) بقوة على الأحوال السائدة التي يعيشها السائق والماشي ومستعمل النقل الجماعي. إن استعمال الكثافة المرورية (سيارة/ ميل/ حارة) مقياساً أساسياً في الطرق المتعددة الحارات يعكس أهمية وجود المركبات الأخرى وتأثيرها على حرية الحركة والمناورة وعلى راحة السائق، وفي

الطريق ذي الحارتين ، فإن معيار «النسبة المئوية لزمن التأخير» يصف جزءا من المدة التي يتوجب على مركبة ما (س) قضاؤها ضمن خط من المركبات خلف مركبة تسير ببطء بسبب عدم قدرة المركبة (س) على تجاوزها. وعند التقاطعات ، فإن التأخير كان ولا يزال موضوعا مهما ، ولكن توقعات التأخير وقياسها أمور صعبة حاول الدليل الجديد حلها ولو جزئياً.

الجدول (١ ، م٣): مقاييس مستوى الخدمة.(أ)

نوع مرفق النقل	مقاييس مستوى الخدمة
الطرق الحرة السريعة	
الأقسام الأساسية للطرق الحرة السريعة	الكثافة (سيارة/ ميل/ حارة)
مناطق التشابك بين الدخول والخروج (Weaving)	متوسط سرعة الحركة (ميل/ ساعة)
منحدرات المداخل والمخارج	معدلات التدفق (سيارة/ ساعة)
الطرق المتعددة الحارات	الكثافة (سيارة/ ميل/ حارة)
الطرق ذوات الحارتين	النسبية المئوية لزمن التأخير (٪)
	متوسط سرعة الحركة (ميل/ ساعة)
التقاطعات ذوات الإشارات الضوئية	متوسط زمن تأخير الوقوف الفردي (ثانية/ مركبة)
التقاطعات الخالية من الإشارات الضوئية	السعة الاحتياطية
الطرق الشريانية	متوسط سرعة الحركة (ميل/ ساعة)
النقل العام	عامل التحميل (شخص/ مقعد)
المشاة	المساحة المتاحة (قدم مربع/ ماشي)

(أ) *Highway Capacity Manual, Special Report 209*, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1985, p. 1-4.

الموضوعات الجديدة

يحتوي الدليل الجديد على إجراءات حديثة لتحليل أنواع لمرافق النقل لم ترد سابقا. فإجراءات تحليل «التقاطعات الخالية من الإشارات الضوئية» تبحث تقاطعات طرق تحتوي على علامات «قف» في أحد الاتجاهين أو ربما علامة «أعط الطريق Yield». وهذه الإجراءات هي تعديل لطريقة طُوّرت في ألمانيا في أواخر السبعينيات. وكذلك تأتي معالجة الطرق الشريانية في الدليل الجديد أشمل بكثير من معالجتها السابقة ، وكذلك أضيف فصل خاص بمركبات النقل العام. ويركز فصل النقل العام بالدليل الجديد على النقل بالحافلات واستعمالها في الشوارع والطرق الرئيسة. كما أضيف فصل جديد شامل يتعلق بالمشاة وآخر بالدراجات الهوائية. أما فصل المشاة فيشمل أرصفة المشاة ومناطق عبورهم وأركان (زوايا) تقاطعات الشوارع. وأما فصل الدراجات الهوائية فيركز على تأثير الدراجات على حركة المرور.

وتأخذ موضوعات النقل العام والمشاة والدراجات الهوائية مركزا مهما في الدليل الجديد. فهذه الفصول وغيرها تهتم بموضوع سعة الأفراد (Person Capacity) بالإضافة إلى النظرة التقليدية لسعة المركبات (Vehicle Capacity). وستبرز أهمية هذه الموضوعات مع الزمن من خلال الحاجة إلى إيجاد أفضل الإجراءات لاستعمال مرافق النقل المختلفة.

التغيرات المهمة

هناك عدد من الإجراءات في الدليل الجديد تختلف عن الإجراءات التي استعملت في الطبعة الثانية. وسنبحث أدناه التغيرات المهمة في هذا المجال.

١ - **الطرق الحرة السريعة والطرق ذات الحارات المتعددة:** في حالة تدفق المرور بدون انقطاع على الطرق المتعددة الحارات، لم يحدث أي تغيير في الإجراءات عما كانت عليه في دليل سنة ١٩٦٥م. ولكن المعايير المستعملة لقياس مستوى الخدمة أصبحت تعكس وجهة نظر السائق وسلوكه. وقد تغير هذا السلوك جذرياً عما كان عليه في بداية الستينيات. ففي هذه الأيام، نرى أننا نستطيع التحرك بسرعة عالية (أكثر من ٥٠ ميلاً في الساعة أو ٨٠ كلم في الساعة) وكذلك الحفاظ على حجم كبير من المرور (أكثر من ١٦٠٠ سيارة في الساعة في الحارة الواحدة)، مع ملاحظة أنه يمكن الانتقال إلى درجة التشبع مع إمكانية ظهور التكدس بسرعة إذا زاد حجم المرور كثيرا على هذا الرقم. ولهذا، فإن الكثافة المرورية في هذه الحالة تصبح أهم معيار لقياس نوعية الحركة. لقد كان المقياس في دليل ١٩٦٥م هو حجم حركة المرور (مركبة/ ساعة).

وكذلك حُسب عدد السيارات التي توازي بفعلها وجود شاحنة في المرور وذلك لتعكس التحسن في أداء الشاحنات الحديثة. وكذلك أضيفت جداول لعدد السيارات التي توازي في تحركها وجود المركبات الترفيهية على الطريق، و اعتبرت المركبات الترفيهية نوعا جديدا من المركبات.

٢ - **الطرق ذوات الحارتين (الخلوية):** غُيّرت إجراءات التصميم والتحليل للطرق الخلوية ذوات الحارتين إلى درجة كبيرة مقارنة بالإجراءات التي نص عليها دليل ١٩٦٥م. فقد أخذ الدليل الجديد بعين الاعتبار التأثير الكبير على عملية المرور الذي يفرضه التفاعل بين المركبات المتحركة باتجاه معاكس، وتضاريس الطريق، وكذلك القدرة على التجاوز. كذلك أظهرت الأبحاث أن تضاريس الطريق وارتفاعها لا يؤثران، فقط، على حركة الشاحنات بل يؤثران أيضا، على حركة السيارات. وهكذا، فقد اعتبر الدليل الجديد أن السعة تعتمد على نسبة توزع المرور الاتجاهي وتضاريس الطريق ونسبة مناطق عدم التجاوز وتوزع نوع المركبات الموجودة. وفي الحالات المثالية، فقد تم اعتبار سعة مرافق كهذه على أساس «٢٨٠٠» سيارة في الساعة لمجموع الحركة في الحارتين. وكذلك، فإن مستوى الخدمة يتعلق بالنسبة المئوية من مدة الرحلة الكلية للزمن الذي يقضيه السائق في طابور من المركبات محاولا التجاوز بسبب وجود سيارة بطيئة أمامه.

٣ - التقاطعات ذوات الإشارات الضوئية: ربما يكون التغير الأكبر في الدليل الجديد هو في طريقة تحليل التقاطعات ذوات الإشارات الضوئية. فالإجراءات هنا ترتكز على تحليل الحركة الحرجة للتقاطع. وهذه الطريقة هي نتيجة أبحاث مستفيضة أجريت في الولايات المتحدة وخارجها. فتحليل سعة التقاطع يرتبط ارتباطا وثيقا بتحليل توقيت الإشارة الضوئية وبالقدرة على تحديد «الحركات الحرجة» للتقاطع التي تستهلك أكبر قدر من زمن دورة الإشارة.

والطريقة بحد ذاتها معقدة ولكنها مرنة في الوقت نفسه وقادرة على تحليل التصاميم البسيطة والمعقدة للتقاطع. ويتعلق مستوى الخدمة هنا بمدة التأخير الناتج عن وقوف كل سيارة في التقاطع بسبب الإشارة الضوئية. والواقع أن التأخير عامل معقد جدا وذو حساسية كبيرة لترتيب مراحل الإشارات الضوئية وتوقيتها ودرجة تشبع التقاطع وعوامل أخرى.

والتأخير مقياس غير موضوعي. فتأخير مدة ٤٠ ثانية ربما يكون مقبولا في وسط مدينة كبيرة ولكنه ليس مقبولا في قرية أو مدينة صغيرة. وكذلك تفسير التأخير عملية معقدة بمعنى أنها لا ترتبط ارتباطا مطلقا بدرجة التشبع. ومن الممكن أن يعمل تقاطع ما بأقل من سعته، وفي الوقت نفسه، يحصل فيه تأخير غير مقبول فتصنف خدمته (F) (أي مستوى فشل). وهذه النظرية لمستوى الخدمة (F) جديدة، إذ إن هذا المستوى في الماضي كان محجوزا لحالة تقاطع يكون طلب المرور عليه أكثر من السعة.

استعمال الحاسوب

كانت جميع حسابات السعة تعمل باليد باستعمال الحاسبات اليدوية. ورغم أن بعض هذه الحسابات لا تزال تحسب باليد، إلا أن كثيراً منها الآن يجرى بالحاسوب.

وأعدّ عدد من الباحثين والمهندسين برامج الحاسوب للإجراءات التي أوصى بها دليل ١٩٦٥م والتوصيات الأخرى ذات العلاقة. ومن النادر جدا أن تجد برامج كهذه خالية من الأخطاء وذلك بسبب المتغيرات العديدة التي يجب اعتبارها. ولهذا السبب، فقد طورت وزارة النقل الأمريكية برامج الحاسوب لتحليل الإجراءات التي أوصى بها الدليل الجديد. وبهذه الطريقة، فإن هناك برامج «موثوقة» يستعملها الجميع مما يوفر قدرا كبيرا من انتظام التطبيق والاستعمال.

ومما لا شك فيه أن استعمال الحاسوب يسهل عملية تحليل السعة وبذلك يتم «تحرير» المهندس من الحسابات المملّة. فمثلا، قد يتطلب تحليل تقاطع ذي إشارات ضوئية اعتبار ما بين ١٥ و٢٠ عاملا مختلفا وعددا كبيرا جدا من الحلول الممكنة. وإذا قام المهندس بتحليل هذا التقاطع وحسابه باليد، فإن العمل قد يستغرق فترة طويلة. ولكن إذا استعمل الحاسوب والبرامج المناسبة، فهذه العملية قد تأخذ دقائق فقط، وفي هذه الحالة، فالمهندس سيملك الوقت الكافي لابتكار بدائل جديدة وتطويرها.

تأثير الدليل الجديد

من الواضح أن للدليل الجديد تأثيرا كبيرا في عمليات تقويم الطرق وحركة المرور وتصميمهما كما كان للدليلين السابقين. وبالأخص، فالدليل الجديد غيّر طريقة معالجة نوعية الخدمة وتقويمها ووفّر مرونة أكثر في تكييف الإجراءات التحليلية للأحوال السائدة.

ورغم أن الإجراءات الجديدة معقدة أكثر مما كانت عليه في الماضي، إلا أنها تعكس التصرفات الحالية للسائقين والخصائص المرورية وتعطي نتائج أدق. وقد لقي الدليل الجديد توزيعا عالميا كما جرى تحديث بعض أجزائه وسيتم تحديثه باستمرار على أساس فصل بفصل حتى يتسنى لجميع المستعملين الانتفاع من آخر ما توصلت إليه الأبحاث بهذا المجال.

ويمكن الحصول على الطبعة الثالثة من دليل سعة الطرق بالكتابة إلى مجلس أبحاث النقل الأمريكي على العنوان التالي:

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD
2101 CONSTITUTION AVENUE, N.W.
WASHINGTON, D.C. 20418
U.S.A.

ثبت المصطلحات

أولا: عربي – إنجليزي



إجهاد	Stress
إحداثي رأسي	Ordinate
آمتراك : اختصار لاسم «شركة السكك الحديدية الأمريكية لنقل المسافرين»	AMTRAK
آشتو : اختصار لكلمة الرابطة الأمريكية للمسؤولين الحكوميين للطرق العامة والنقل	AASHTO
أداة وسيطية (مساعدة)	Catalytic Device
ارتداد الطاقة	Recoil
ارتفاع	Elevation
إرشاد	Guidance
إزاحة	Offset
أسّ (دليل القوة الجبرية)	Exponent
استعادة رأس المال	Capital Recovery
استقرار	Stability
إشارة ضوئية ذات توقيت ثابت	Fixed Time Signal
إشارة ضوئية كاملة الاستجابة (ذات استشعار كلي)	Fully Actuated Signal
إشارة ضوئية نصف مستجيبة (ذات استشعار جزئي نصفي)	Semi-actuated Traffic Signal
إقعاء السفينة	Squat

انحناء	Curvature
انحناء، انحراف	Deflection
انزلاق جانبي	Side Slip
انفعال	Strain
انهيار (طيران)	Stalling
إهلاك	Depreciation

ب

بداية ونهاية (الرحلة)	Origin-Destination (O-D)
بلاطة	Slab

ت

تباطؤ	Deceleration
تحليل الانحدار	Regression Analysis
تدفق مروري	Traffice Flow
ترس نقل الحركة	Gear
تسارع	Acceleration
تسعير متباين	Differential Pricing
تشوّه مرن	Elastic Deformation
تصريف المياه	Drainage
تعلية جانبية	Superelevation
تعيين حركة المرور أو تخصيصها (على الشبكة)	Traffic Assignment
تقاطر (الفترة الزمنية الفاصلة بين مركبتين متتاليتين)	Headway
تقسيم الأراضي إلى مناطق	Zoning
تكاليف غير مباشرة	Indirect Costs
تكاليف مباشرة	Direct Costs
تكاليف مشتركة	Joint Costs
تكاليف هامشية (حدية)	Marginal Costs

تكرار، تردد	Frequency
تكلفة إدارية	Overhead Cost
تكلفة يمكن تجنبها	Avoidable Cost
تكلفة تزايدية	Incremental Cost
تكلفة تشغيلية	Operating Cost
تكلفة ثابتة	Fixed Cost
تكلفة رأسمالية (للمرافق والمعدات)	Capital Cost
تكلفة سنوية	Annual Cost
تكلفة متغيرة	Variable Cost
تكلفة نقدية مباشرة	Out-of-pocket Cost
تكلفة هندسية	Engineering Cost
تمويل مرحلي	Pay-as-you-go
تنظيم حركة المرور عند التقاطعات (فصل المرور المتدفق إلى ممرات محددة بوساطة العلامات أو الجزر)	Channelization
تولد الحركة المرورية	Traffic Generation
تولد الرحلات	Trip Generation

ج

جريان صفائحي (منتظم)	Laminar Flow
جسم السفينة	Hull
جهاز التحكم بالإشارة الضوئية	Signal Controller
جهد الجرّ	Tractive Effort

ح

حارة تسلّق الشاحنات	Climbing Lane
حافلات تطلب هاتفيا	Dial-a-bus
حاوية	Container
حث خطي	Linear Induction
حجرة هويس (للمراكب النهرية)	Lock

حجم (مروري) مخدوم	Service Volume
حجم مروري	Traffice Volume
حد السيولة	Liquid Limit
حدّ اللدونة	Plastic Limit
حدّافة	Flywheel
حصر طوقي	Cordon Count
حصر مرافق النقل	Facility Inventory
حصص وسائط النقل (تقسيم الرحلات بين وسائط النقل)	Modal Split
حصى	Gravel
حصى الفرش (سكك حديدية)	Ballast

خ

خصائص تقنية - اقتصادية	Technoeconomic Characteristics
خط التدقيق	Screenline
خطّي	Linear

د

دارة	Circuit
دارة سكة مشفّرة	Coded Track Circuit
دراسات بدايات ونهايات (الرحلات)	Origin-Destination Studies
درجة الميل	Gradient
دروج، تدحرج	Rolling
دفعي	Propulsive
دلالة الإشارة الضوئية	Signal Aspect
دليل سعة الطرق	Highway Capacity Manual
دورة	Cycle

ر

رحلة	Trip
رسم بياني للزمن مع المكان	Time-space Diagram
رصفية صلبة	Rigid Pavement
رصفية مرنة	Flexible Pavement
رصيف الميناء أو المرفأ	Wharf
رقّاص	Propeller
ريع (عائد)	Interest

ز

زاوية الإنحراف	Deflection Angle
زاوية الخرير	Burble Angle
زاوية الهبوب	Angle of Attack
زمن الانتقال	Travel Time
زمن التدوير (الفترة الزمنية بين الوصول إلى نقطة ومغادرتها، وتطلق على فترة انتظار المركبات والسفن في الموانئ والمطارات)	Turn-around Time
زورق القطر	Towboat

س

ساعة الذروة	Peak Hour
سرعة	Speed
سرعة إجمالية	Overal Speed
سرعة الحركة	Running Speed
سرعة لحظية	Spot Speed
سعة (الطاقة الاستيعابية)	Capacity
سعة المركبة	Vehicle Capacity
سعة فائضة	Excess Capacity

سكة حديدية خفيفة	Light Rail
سكة مسننة	Rack
سكك حديدية عنقية	Throat Tracks
سهولة الإرشاد	Guidability
سهولة المناورة	Manueverability
سهولة الوصول	Accessibility
سير متحرك	Belt Conveyor

ش

شجرة المسار الأقصر	Minimum Path Tree
شغل	Work
شفّة	Flange
شوط	Stroke

ص

صابورة (ثقل الموازنة في السفن)	Ballast
صندل (سفينة نقل سائب مسطحة)	Barge

ض

ضغط جوي	Atomospheric Pressure

ط

طاقة الحركة	Kinetic Energy
طاقة الوضع ، طاقة كامنة	Potential Energy
طبقة الأساس (لطريق أو السكة)	Base
طبقة ما تحت الأساس	Subbase

طرق شريانية	Arterials
طرق مجمعة (تجميعية)	Collectors
طرق وشوارع محليّة	Local Roads and Streets
طريق حر سريع	Freeway
طريق سريع	Expressway
طريق مقسوم (مفصول الاتجاهين)	Divided Highway
طفو	Bouyancy
طمي (غرين)	Silt-clay
طيار آلي (أوتوماتي)	Automatic Pilot

ع

عارضة السكة	Tie
عامل استعادة رأس المال	Capital Recovery Factor
عامل التحميل (للتقاطع)	Load Factor
عامل إنشائي	Structural Number (SN)
عامل ساعة الذروة	Peak Hour Factor
عامل مناخي (إقليمي)	Regional Factor (R)
عزم اللّي	Torque
عقدة	Node
عمود الإدارة	Shaft

ف

فاقد الضغط	Head
فدان	Acre
فولاذ المجمرة المكشوفة (فولاذ سيمنز مارتن)	Open-hearth Steel

ق

قاعدة ترابية	Subgrade

قدرة الأحصنة المكبحية	Brake Horsepower
قدرة التحمل	Bearing Capacity
قدرة حصانية	Horsepower
قص	Shear
قطاع جانبي	Profile
قطع مكافىء	Parabola
قَواعد الطيران بالأجهزة (التنظيمات التي تحكم الطيران عندما تكون ظروف الطقس دون الحد الأدنى للطيران بالرؤية)	Instrument Flight Rules (IFR)
قواعد الطيران بالرؤية	Visual Flight Rules (VFR)
قوة طاردة مركزية	Centrifugal Force
قوة محركة	Motive Power
قيمة تحمل التربة	Soil Support Value

ك

كثافة (وزن) نوعي	Specific Gravity
كثافة جافة	Dry Density
كفاءة	Efficiency
كفاءة حرارية	Thermal Efficiency
كمية الحركة	Momentum

ل

لزوجة	Viscosity

م

ماخ (سرعة الصوت)	Mach
مؤخرة السفينة	Stern
مؤشر الخدمة	Serviceability Index

Plasticity Index	مؤشر اللدونة
Group Index	مؤشر المجموعة
Dependent Variable	متغير تابع
Independent Variable	متغير مستقل
Average Cost	متوسط التكلفة
Average Speed	متوسط السرعة
Highway Research Board	مجلس أبحاث الطرق (الأمريكي)
Alignment	محاذاة
Optimum Water Content	محتوى مائي أمثل
Internal Combustion Engine	محرك الاحتراق الداخلي
Linear Induction Motor	محرك حث خطي
Rotary Engine	محرك دوّار
Terminals	محطات (النقل)
Stub Stations	محطات طرفية (محطات قطارات في أطراف الخط الحديدي)
Through Stations	محطات عبور (محطة قطارات تمتد خطوطها خارج المحطة في الاتجاهين)
Axle	محور
Tandem Axle	محور ترادفي
Interchange	مُحوّل (تقاطع علوي منفصل)
Rotary Interchange	محوّل (تقاطع) دوار
Directional Interchange	محول اتجاهي
Trumpet or T	محوّل بوقي (على شكل بوق)
Partial Cloverleaf	محوّل على شكل جزء من ورقة البرسيم
Diamond Interchange	محوّل معيني (ماسّي)
Minimum Travel Time	مدة التنقّل الدنيا
Cycle Length	مدّة الدورة
Reaction Time	مدة ردّ الفعل
Runway	مدرج طائرات
Berth	مرسى، رصيف
Vehicle	مركبة
Center of Gravity	مركز الثقل

مرونة	Flexibility
مسافة الرؤية	Sight Distance
مستوى الخدمة	Level of Service
مصلحة الطرق العامة (الأمريكية)	Bureau of Public Roads
مضخة ترددية	Reciprocating Pump
معامل	Coefficient
معامل الاحتكاك	Coefficient of Friction
معامل الانحدار	Coefficient of Regression
معامل السحب أو الجرّ	Drag Coefficient
مُعامل المرونة	Modulus of Elasticity
معدات التأثير الأرضية	Ground Effects Machines
معدل العائد	Rate of Return
معينات (مساعدات) ملاحية	Navigational Aids
مقابلة منزلية	Home Interview
مقاومة الدروج	Rolling Resistance
مقاومة السحب أو الجرّ	Drag
مقاومة الميل	Grade Resistance
مقاومة قوة الجرّ	Tractive Resistance
مقاومة قوة الدفع	Propulsive Resistance
مقدمة السفينة	Bow
مكان وقوف - ساعة (وحدة قياس استخدام مواقف السيارات)	Space Hour
مماس - الجزء المستقيم من طريق أو سكة	Tangent
ممر طائرات	Taxi way
ممر هبوط طائرات	Landing Strip
ممرات النقل	Transportation Corridors
منحنى التحول	Diversion Curve
منحنى انتقالي (متدرج)	Transition Curve
منحنى رأسي	Vertical Curve
منحنى قطع مكافئ	Parabolic Curve
منفعة	Utility

منفعة واسطة النقل	Modal Utility
ميل (منحدر أو مرتفع)	Grade
ميل مقيّد	Limiting Grade

ن

ناقل هوائي (بالعربة المعلّقة)	Aerial Tramways
نسبة المسنن التفاضلي	Differential Gear Ratio
نسبة المنفعة للتكلفة	Benifit-cost Ratio
نسبة باعيّة	Aspect Ratio
نسبة قوة كاليفورنيا للتحمل	California Bearing Ratio (CBR)
نسبة نقل الحركة	Transmission Ratio
نظام إرشادي	Guidance System
نظام استشعار آلي (أوتوماتي)	Automatic Sensor System
نظام إشارات مرورية متتابعة	Progressive System
نظام الإشارات المتزامنة	Simultaneous System
نظام الإشارات المتناوبة	Alternate System
نظام الرائي والمرئي (الرؤية المجرّدة)	See and be seen System
نقل عام	Transit
نقل عام سريع	Rapid Transit
نقل عام سريع فردي	Personalized Rapid Transit
نماذج رياضية	Mathematical Models
نموذج الجاذبية	Gravity Model

هـ

هامشي (حدّي)	Marginal

و

واسطة (أو وسيلة) النقل	Transportation Mode

وتر	Chord
وحدة حرارية بريطانية (و ح ب)	British Thermal Unit (BTU)
وحدة قياس شدة الصوت «ديسيبل»	Decibel
وزن الحمولة	Payload
وزن فارغ	Dead Load
وسادة هوائية	Air Cushion
وصلة	Link

ثانيا: إنجليزي – عربي



AASHTO	آشتو: اختصار لكلمة الرابطة الأمريكية للمسؤولين الحكوميين للطرق العامة والنقل
Acceleration	التسارع
Accessibility	سهولة الوصول
Acre	فدان
Aerial Tramways	ناقل هوائي (بالعربة المعلّقة)
Air Cushion	وسادة هوائية
Alignment	محاذاة
Alternate System	نظام الإشارات المتناوبة
AMTRAK	آمتراك: اختصار لاسم «شركة السكك الحديدية الأمريكية لنقل المسافرين»
Angle of Attack	زاوية الهبوب
Annual Cost	التكلفة السنوية
Arterials	طرق شريانية
Aspect Ratio	النسبة الباعيّة
Atomospheric Pressure	الضغط الجوي
Automatic Pilot	طيار آلي (أوتوماتي)
Automatic Sensor System	نظام استشعار آلي (أوتوماتي)
Average Cost	متوسط التكلفة
Average Speed	متوسط السرعة
Avoidable Cost	التكلفة التي يمكن تجنبها
Axle	محور

B

Ballast	حصى الفرش (سكك حديدية)
Ballast	صابورة (ثقل الموازنة في السفن)
Barge	صندل (سفينة نقل سائب مسطحة)

Base	طبقة الأساس (لطريق أو سكة)
Bearing Capacity	قدرة التحمل
Belt Conveyor	سير متحرك
Benifit-cost Ratio	نسبة المنفعة للتكلفة
Berth	مرسى، رصيف
Bouyancy	الطفو
Bow	مقدمة السفينة
Brake Horsepower	قدرة الأحصنة المكبحية
British Thermal Unit (BTU)	وحدة حرارية بريطانية (و ح ب)
Burble Angle	زاوية الخرير
Bureau of Public Roads	مصلحة الطرق العامة (الأمريكية)

C

California Bearing Ratio (CBR)	نسبة قوة كاليفورنيا للتحمل
Capacity	السعة (الطاقة الاستيعابية)
Capital Cost	التكلفة الرأسمالية (للمرافق والمعدات)
Capital Recovery	استعادة رأس المال
Capital Recovery Factor	عامل استعادة رأس المال
Catalytic Device	أداة وسيطية (مساعدة)
Center of Gravity	مركز الثقل
Centrifugal Force	القوة الطاردة المركزية
Channelization	تنظيم حركة المرور عند التقاطعات (فصل المرور المتدفق إلى ممرات محددة بوساطة العلامات أو الجزر)
Chord	وتر
Circuit	دارة
Climbing Lane	حارة تسلّق الشاحنات
Coded Track Circuit	دارة سكة مشفّرة
Coefficient	معامل
Coefficient of Friction	معامل الاحتكاك

Coefficient of Regression	معامل الانحدار
Collectors	طرق مجمعة (تجميعية)
Container	حاوية
Cordon Count	حصر طوقي
Curvature	انحناء
Cycle	دورة
Cycle Length	مدّة الدورة

D

Dead Load	الوزن الفارغ
Deceleration	التباطؤ
Decibel	وحدة قياس شدة الصوت «ديسيبل»
Deflection	انحناء، انحراف
Deflection Angle	زاوية الانحراف
Dependent Variable	متغير تابع
Depreciation	الإهلاك
Dial-a-bus	حافلات تطلب هاتفيا
Diamond Interchange	محوّل معيني
Differential Gear Ratio	نسبة المسنن التفاضلي
Differential Pricing	التسعير المتباين
Direct Costs	التكاليف المباشرة
Directional Interchange	محول اتجاهي
Diversion Curve	منحنى التحول
Divided Highway	طريق مقسوم (مفصول الاتجاهين)
Drag	مقاومة السحب أو الجرّ
Drag Coefficient	معامل السحب أو الجرّ
Drainage	تصريف المياه
Dry Density	الكثافة الجافة

E

Efficiency	كفاءة
Elastic Deformation	تشوّه مرن
Elevation	الارتفاع
Engineering Cost	التكلفة الهندسية
Excess Capacity	السعة الفائضة
Exponent	أسّ (دليل القوة الجبرية)
Expressway	طريق سريع

F

Facility Inventory	حصر مرافق النقل
Fixed Cost	التكلفة الثابتة
Fixed Time Signal	إشارة ضوئية ذات توقيت ثابت
Flange	شفّة
Flexibility	مرونة
Flexible Pavement	رصفية مرنة
Flywheel	حذّافة
Freeway	طريق حر سريع
Frequency	تكرار، تردد
Fully Actuated Signal	إشارة ضوئية كاملة الاستجابة (ذات استشعار كلي)

G

Gear	ترس نقل الحركة
Grade	ميل (منحدر أو مرتفع)
Grade Resistance	مقاومة الميل
Gradient	درجة الميل
Gravel	حصى

Gravity Model	نموذج الجاذبية
Ground Effects Machines	معدات التأثير الأرضية
Group Index	مؤشر المجموعة
Guidability	سهولة الإرشاد
Guidance	إرشاد
Guidance System	نظام إرشادي

H

Head	فاقد الضغط
Headway	التقاطر (الفترة الزمنية الفاصلة بين مركبتين متتاليتين)
Highway Capacity Manual	دليل سعة الطرق
Highway Research Board	مجلس أبحاث الطرق (الأمريكي)
Home Interview	مقابلة منزلية
Horsepower	القدرة الحصانية
Hull	جسم السفينة

I

Incremental Cost	التكلفة التزايدية
Independent Variable	متغير مستقل
Indirect Costs	التكاليف غير المباشرة
Instrument Flight Rules (IFR)	قواعد الطيران بالأجهزة (التنظيمات التي تحكم الطيران عندما تكون ظروف الطقس دون الحد الأدنى للطيران بالرؤية)
Interchange	مُحوّل (تقاطع علوي منفصل)
Interest	الريع (العائد)
Internal Combustion Engine	محرك الاحتراق الداخلي

J

Joint Costs	التكاليف المشتركة

K

Kinetic Energy	طاقة الحركة

L

Laminar Flow	جريان صفائحي (منتظم)
Landing Strip	ممر هبوط الطائرات
Level of Service	مستوى الخدمة
Light Rail	سكة حديدية خفيفة
Limiting Grade	الميل المقيد
Linear	خطّي
Linear Induction	حث خطي
Linear Induction Motor	محرك حث خطي
Link	وصلة
Liquid Limit	حد السيولة
Load Factor	عامل التحميل (للتقاطع)
Local Roads and Streets	الطرق والشوارع المحليّة
Lock	حجرة هويس (للمراكب النهرية)

M

Mach	ماخ (سرعة الصوت)
Manueverability	سهولة المناورة
Marginal	هامشي (حدّي)
Marginal Costs	التكاليف الهامشية (الحدية)
Mathematical Models	نماذج رياضية
Minimum Path Tree	شجرة المسار الأقصر
Minimum Travel Time	مدة التنقّل الدنيا
Modal Split	حصص وسائط النقل (تقسيم الرحلات بين وسائط النقل)

منفعة واسطة النقل	Modal Utility
معامل	Modulus
مُعامل المرونة	Modulus of Elasticity
كمية الحركة	Momentum
القوة المحركة	Motive Power

N

معينات (مساعدات) ملاحية	Navigational Aids
عقدة	Node

O

الإزاحة	Offset
فولاذ المجمرة المكشوفة (فولاذ سيمنز مارتن)	Open-Hearth Steel
التكلفة التشغيلية	Operating Cost
المحتوى المائي الأمثل	Optimum Water Content
الإحداثي الرأسي	Ordinate
بداية ونهاية (الرحلة)	Origin-Destination (O-D)
دراسات بدايات ونهايات (الرحلات)	Origin-Destination Studies
تكلفة نقدية مباشرة	Out-of-pocket Cost
السرعة الإجمالية	Overal Speed
التكلفة الإدارية	Overhead Cost

P

قطع مكافئ	Parabola
منحنى قطع مكافئ	Parabolic Curve
محوّل على شكل جزء من ورقة البرسيم	Partial Cloverleaf
التمويل المرحلي	Pay-as-you-go

Payload	وزن الحمولة
Peak Hour	ساعة الذروة
Peak Hour Factor	عامل ساعة الذروة
Personalized Rapid Transit	نقل عام سريع فردي
Plastic Limit	حدّ اللدونة
Plasticity Index	مؤشر اللدونة
Potential Energy	طاقة الوضع ، طاقة كامنة
Profile	قطاع جانبي
Progressive System	نظام إشارات مرورية متتابعة
Propeller	رقّاص
Propulsive	دفعي
Propulsive Resistance	مقاومة قوة الدفع

R

Rack	سكة مسننة
Rapid Transit	نقل عام سريع
Rate of Return	معدل العائد
Reaction Time	مدة ردّ الفعل
Reciprocating Pump	مضخة ترددية
Recoil	ارتداد الطاقة
Regional Factor (R)	العامل المناخي (الإقليمي)
Regression Analysis	تحليل الانحدار
Rigid Pavement	رصفية صلبة
Rolling	دروج ، تدحرج
Rolling Resistance	مقاومة الدروج
Rotary Engine	محرك دوّار
Rotary Interchange	محوّل (تقاطع) دوار
Running Speed	سرعة الحركة
Runway	مدرج طائرات



Screenline	خط التدقيق
See and be seen System	نظام الرائي والمرئي (الرؤية المجرّدة)
Semi-actuated Traffic Signal	إشارة ضوئية نصف مستجيبة (ذات استشعار جزئي نصفي)
Service Volume	الحجم (المروري) المخدوم
Serviceability Index	مؤشر الخدمة
Shaft	عمود الإدارة
Shear	قص
Side Slip	إنزلاق جانبي
Sight Distance	مسافة الرؤية
Signal Aspect	دلالة الإشارة الضوئية
Signal Controller	جهاز التحكم بالإشارة الضوئية
Silt-clay	طمي (غرين)
Simultaneous System	نظام الإشارات المتزامنة
Slab	بلاطة
Soil Support Value	قيمة تحمل التربة
Space Hour	مكان وقوف - ساعة (وحدة قياس استخدام مواقف السيارات)
Specific Gravity	الكثافة (الوزن) النوعي
Speed	السرعة
Spot Speed	السرعة اللحظية
Squat	إقعاء السفينة
Stability	استقرار
Stalling	انهيار (طيران)
Stern	مؤخرة السفينة
Strain	انفعال
Stress	إجهاد
Stroke	شوط
Structural Number (SN)	العامل الإنشائي
Stub Stations	المحطات الطرفية (محطات قطارات في أطراف الخط الحديدي)

طبقة ما تحت الأساس	Subbase
القاعدة الترابية	Subgrade
التعلية الجانبية	Superelevation



محور ترادفي	Tandem Axle
مماس – الجزء المستقيم من طريق أو سكة	Tangent
ممر طائرات	Taxi way
الخصائص التقنية – الاقتصادية	Technoeconomic Characteristics
محطات (النقل)	Terminals
الكفاءة الحرارية	Thermal Efficiency
سكك حديدية عنقية	Throat Tracks
محطات عبور (محطة قطارات تمتد خطوطها خارج المحطة في الاتجاهين)	Through Stations
عارضة السكة	Tie
رسم بياني للزمن مع المكان	Time-space Diagram
عزم اللّي	Torque
زورق القطر	Towboat
جهد الجرّ	Tractive Effort
مقاومة قوة الجرّ	Tractive Resistance
تعيين حركة المرور أو تخصيصها (على الشبكة)	Traffic Assignment
تولد الحركة المرورية	Traffic Generation
التدفق المروري	Traffice Flow
الحجم المروري	Traffice Volume
النقل العام	Transit
منحنى انتقالي (متدرج)	Transition Curve
نسبة نقل الحركة	Transmission Ratio
ممرات النقل	Transportation Corridors
واسطة (أو وسيلة) النقل	Transportation Mode
زمن الانتقال	Travel Time

Trip	رحلة
Trip Generation	تولد الرحلات
Trumpet or T	محوّل بوقي (على شكل بوق)
Turn-around Time	زمن التدوير (الفترة الزمنية بين الوصول إلى نقطة ومغادرتها. وتطلق على فترة انتظار المركبات والسفن في الموانئ والمطارات)

U

Utility	منفعة

V

Variable Cost	التكلفة المتغيرة
Vehicle	مركبة
Vehicle Capacity	سعة المركبة
Vertical Curve	منحنى رأسي
Viscosity	اللزوجة
Visual Flight Rules (VFR)	قواعد الطيران بالرؤية

W

Wharf	رصيف الميناء أو المرفأ
Work	الشغل

Z

Zoning	تقسيم الأراضي إلى مناطق



كشاف الموضوعات



ص

ض

ط

م

ن

هـ

و


ردمك: ٩٩٦٠-٠٥-٧١٧-٨
ISBN: 9960-05-717-8